

Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Měření světelně-technických parametrů
automotive světel

Measuring photometric and technical parameters on
automotive headlamps

Vedoucí: Ing. Petr Bernat, Ph.D.

Ostrava

Vypracoval: Jiří Novák

2019

Zadání bakalářské práce

Student: Jiří Novák

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika

Téma: Měření elektrických a optických parametrů projektoru automobilového svítidla.
Measuring Photometric and Technical Parameters on Automotive Headlamps.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Osvětlovací soustava automobilu, vývoj, vlastnosti, používané zdroje.
Svítidlo s LED projektorem.
Návrh měřicího stanoviště.
Měření elektrických a optických parametrů.
Souhrnné vyhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

Vyhláška č. 341/2002 Sb., §18 - Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích - světelná zařízení vozidel

Dohoda o přijetí harmonizovaných technických předpisů Organizace spojených národů pro kolová vozidla, zařízení a části, které mohou být namontovány a/nebo používány na kolových vozidlech, a o podmínkách pro vzájemné uznávání schválení udělených podle těchto předpisů Organizace spojených národů,

Příloha EHK 008 Jednotná ustanovení pro schválení světlometů pro motorová vozidla, vyzařujících asymetrické potkávací světlo nebo dálkové světlo nebo obojí a vybavených halogenovými žárovkami (H1, H2, H3, HB3, HB4, H7, H8, H9, HIR1, HIR2 a/nebo H11).

Příloha EHK 128 Jednotná ustanovení pro schvalování zdrojů světla ze světla vyzařujícími diodami (LED) pro použití ve schvalovaných jednotkách svítilen/světlometů motorových vozidel a jejich přípojných vozidel.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**


Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019





prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

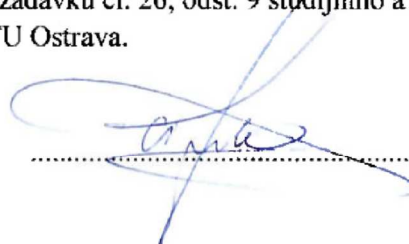
Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 29.4.2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, is written over a horizontal dotted line.

Souhlasím se zveřejnění této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě dne 29.4.2019

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to be 'Anna'.

Rád bych poděkoval Ing. Petru Bernatovi, Ph.D. za vedení a velmi podnětné vstupy při konzultaci během vytváření této práce. Rovněž děkuji doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za poskytnutí prostoru a kapacit během práce na praktické části měření a Ing. Lukáši Drábkovi za podporu na straně Varroc lighting systems, zejm. za zajištění kapacit ve fotometrické laboratoři.

Abstrakt

Tato práce se zabývá studiem fotometrických vlastností automobilových světlometů vybavených LED zdroji světla, zejména projektorové podsestavy, jenž je produktem společnosti Varroc Lighting Systems. Teoretická část přibližuje fotometrii, teorii světelných stop a zákaznické a zákonné požadavky. Praktická část sestává z porovnání optické mapy změřené ve fotometrické laboratoři společnosti Varroc Lighting Systems, vyznačení klíčových bodů dle zákaznické specifikace a hodnot naměřených v daných bodech v laboratoři Vysoké školy Báňské. Výstupem této práce je mimo jiné také návrh praktické laboratorní úlohy pro výuku.

Klíčová slova: Bakalářská práce, LED, světlomet, fotometrie, světlo, automotive, intenzita, barva

Abstract

This work aims to study photometric properties of automotive headlamps equipped with LED light sources, esp. focused on a particular projector subassembly produced by Varroc Lighting System co. Theoretical part consists of description of photometric parameters, beam images and customer and legal specifications. Measurement is composed of comparison of optical map measured at photometric laboratory located at Varroc Lighting Systems pointing out critical points according to customer specification with values measured at Vysoká škola Báňská. Output of this work among other contains a draft of laboratory exercise intended for tuition.

Key words: Bachelor thesis, LED, headlamp, photometry, light, automotive, illuminance, color

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod..... | 10 |
| 2 Seznam použitých symbolů a zkratek | 12 |
| 3 Světlo | 13 |
| 4 Světlo vyzařující dioda..... | 13 |
| 4.1 Historie | 13 |
| 4.2 Princip funkce..... | 14 |
| 5 Světlomet..... | 14 |
| 5.1 Reflektor..... | 14 |
| 5.2 Projektor | 15 |
| 5.3 Projektorová sestava L405 LOW..... | 16 |
| 5.3.1 Low Beam..... | 16 |
| 5.3.2 High Beam..... | 17 |
| 6 Fotometrie..... | 18 |
| 6.1 Světelná stopa | 18 |
| 6.1.1 Potkávací světla - Low Beam..... | 18 |
| 6.1.2 Přísvit do zatáček | 23 |
| 6.1.3 Dálková světla – high beam | 23 |
| 6.2 Gradient | 27 |
| 6.3 Barva | 28 |
| 7 Zapojení a specifikace..... | 30 |
| 8 Měření | 32 |
| 9 Návrh využití k výuce | 33 |
| 10 Závěr..... | 37 |

Seznam obrázků

Obr. 1: Dva typické druhy LED

Obr. 2: Reflektor

Obr. 3: Princip projektoru

Obr. 4: Výrobní provedení projektoru

Obr. 5: Osazený chladič modulu low beam

Obr. 6: Podsestava nosiče a čočky pro LB modul

Obr. 7: HB modul

Obr. 8: Tvar stopy asymetrické potkávací funkce

Obr. 9: Mapa svítivosti potkávací funkce v nepravých barvách s vyznačenými body specifikace

Obr. 11: LB chladič s elektronikou a demontovanými clonami

Obr. 10: Měření pozice base beam

Obr. 12: Vyhodnocení úhlu HV bodu v LB stopě pomocí ED testeru

Obr. 13: Zaměření HV bodu při seřizování potkávací funkce

Obr. 14: Tvar stopy potkávací funkce a SBL

Obr. 15: Mapa svítivosti dálkové funkce v nepravých barvách s vyznačenými body specifikace

Obr. 16: Měření intenzity modulu HB, $E_{max} = 115,2lx$

Obr. 17: Zobrazení efektivní vzdálenosti osvětlení vozovky

Obr. 18: Zobrazení efektivního úhlu sklonu světlometů

Obr. 19: Měření gradientu na ED testeru

Obr. 20: Idealizovaný průběh intenzity osvětlení podél měřící přímky

Obr. 21: Vizualizace vztahu mezi gradientem a průběhem intenzity osvětlení podle pozice na přímce

Obr. 22: Měření gradientu na stopě LB

Obr. 23: Měření barvy stopy potkávací funkce

Obr. 24: Vizualizace modelu HSV

Obr. 25: Stupnice odstínů používaná ve VLS

Obr. 26: Jednotlivé desky plošných spojů

Obr. 27: Schéma zapojení projektorové podsestavy během měření

Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled bodů měření svítivosti potkávací funkce dle zákaznické specifikace

Tab. 2: Přehled požadovaných a měřených úhlů

Tab. 3: Přehled bodů měření svítivosti a intenzity dálkového svícení dle zákaznické specifikace

Tab. 4: Tabulky používaných binů

Tab. 5: Tabulka napájecích parametrů při měření v laboratoři VŠB

Tab. 6: Tabulka přepočtených hodnot intenzity osvětlení na 25m a srovnání mezi Varroc a VŠB

Tab. 7: Tabulka naměřených hodnot svítivosti a srovnání mezi Varroc a VŠB

1 Úvod

Předmětem této práce je zjištění výstupních parametrů projektorové sestavy, učené pro montáž do automobilu Land Rover Range Rover, při jmenovitém příkonu, srovnání těchto parametrů se zákaznickou normou a srovnání hodnot měřených laboratoří spol. Varroc Lighting Systems a laboratoří Vysoké školy Báňské. Na základě zjištěných hodnot bude pak vypracována laboratorní úloha pro výuku.

Součástí práce je přiblížení moderních technologií hlavních automobilových světlometů využívajících výhradně svítivých diod k provedení všech zákazníkem požadovaných funkcí, jejich vlastností a fotometrie. Práce se bude soustředit kolem jednoho produktu společnosti Varroc Lighting Systems (dále také VLS), a to hlavního předního světlometu pro projekt Land Rover Range Rover (L405) společnosti Jaguar Land Rover ve verzi LOW.

Tento světlomet je osazen celkem pěti světelnými moduly, které pomocí svítivých diod zajišťují všechny funkce požadované legislativou a zákazníkem. Jmenovitě se jedná o tři kombinované moduly pro denní svícení a směrovku (takzvané DRL – Daylight Running Light), jeden kombinovaný modul zajišťující potkávací funkci (tzv. LB – Low Beam) a jeden modul pro funkci dálkovou funkci (tzv. HB – High Beam).

Všechny moduly i přes zcela odlišná určení využívají pro přeměnu elektrické energie na bílé světlo technologii modrých LED a následně luminoforu pro přeměnu modrého světla na bílé; toto se netýká směrové funkce, která používá oranžové LED. Tato práce pojednává pouze o dvou posledně jmenovaných modulech, tj. High Beam a Low Beam. Souhrnně se tyto moduly nazývají projektorem a jsou hlavním prvkem ve světlometu.

2 Seznam použitých symbolů a zkratek

| | |
|----------------------|---|
| <i>ADB</i> | Adaptive driving beam, adaptivní potkávací světlo |
| <i>AFS</i> | Adaptive front-light system, systém adaptivních předních světel |
| <i>cd</i> | Kandela |
| <i>C_i</i> | Kondenzátor |
| <i>DRL</i> | Daylight running light, světlomet denního svícení |
| <i>E_g</i> | Energie zakázaného pásu |
| <i>EU</i> | Evropská unie, také Evropský trh |
| <i>f</i> | Frekvence |
| <i>HB</i> | High beam, dálkové světlo |
| <i>HSV</i> | Hue, saturation, value barevný modul |
| <i>I</i> | Svítivost |
| <i>IMS</i> | Insulated metal substrate, izolovaný kovový podklad |
| <i>IR</i> | Infrared radiation, infračervené záření |
| <i>L405</i> | Kódové označení projektu Range Rover |
| <i>λ</i> | Vlnová délka |
| <i>LB</i> | Low beam, potkávací světlo |
| <i>LED</i> | Light emitting diode, světlo vyzařující dioda |
| <i>lm</i> | Lumen |
| <i>lx</i> | Lux |
| <i>mA</i> | Miliampér |
| <i>např.</i> | Například |
| <i>nm</i> | Nanometr |
| <i>obr.</i> | Obrázek |
| <i>OLED</i> | Organic LED, LED z organickým materiálů |
| <i>PCB</i> | Printed circuit board, deska plošných spojů |
| <i>popř.</i> | Popřípadě |
| <i>R_a</i> | Index podání barev |
| <i>resp.</i> | Respektive |
| <i>RGB</i> | Barevné schéma red, green, blue |
| <i>R_i</i> | Rezistor |
| <i>SAE</i> | Society of automotive engineers, také Severoamerický trh |
| <i>SBL</i> | Static bending light, statický přísvit do zatáček |
| <i>spol.</i> | Společnost |
| <i>tab.</i> | Tabulka |
| <i>tj.</i> | To je |
| <i>tzv.</i> | Takzvaný |
| <i>UK</i> | Velká Británie, také Britský trh |
| <i>UV</i> | Ultraviolet radiation, ultrafialové záření |
| <i>V</i> | Volt |
| <i>VLS</i> | Varroc lighting systems |
| <i>VŠB</i> | Vysoká škola báňská |
| <i>zejm.</i> | Zejména |

3 Světlo

Za viditelné světlo je považován úsek spektra elektromagnetického záření v intervalu vlnových délek 390-760nm, tj. takové, které jsou vnímány lidským okem. Jeho částicí je foton, nicméně díky dualitě elektromagnetického záření má světlo charakter částicový i vlnový – částicová povaha vysvětluje např. fotoelektrický efekt, vlnová pak např. ohyb světla. Spektrum viditelného záření je ze strany kratších vlnových délek ohraničeno ultrafialovým (UV) zářením, ze strany delších vlnových délek pak infračerveným (IR) zářením. Platí vztah mezi frekvencí f a vlnovou délkou λ záření:

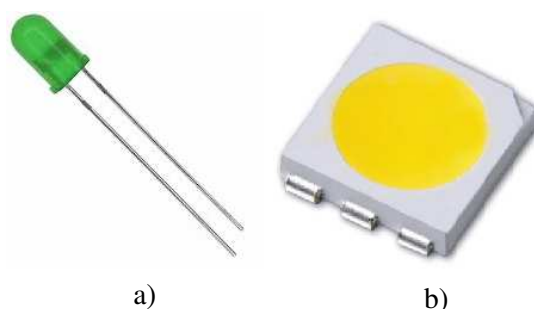
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

kde c je rychlost světla ve vakuu.

V osvětlovací technice se zejména uplatňuje světlo bílé, které však ve spektru záření nemá svou vlastní monochromatickou složku, nýbrž se jedná o kombinaci minimálně tří základních barev viditelného spektra, a to červenou, zelenou a modrou (Red, Green, Blue – RGB).

4 Světlo vyzařující dioda

Světlo vyzařující dioda je moderní polovodičový světelný zdroj. V současné době úspěšně vytlačuje zářivky, žárovky i výbojky ze všech tradičních oblastí jejich aplikace, a to díky své vysoké efektivitě, dlouhé životnosti a stále příznivější ceně. LED se v současnosti uplatňují prakticky ve všech odvětvích osvětlovací techniky či komunikačních technologií, v některých aplikacích se staly naprosto nedílnou součástí použité technologie, např. v telekomunikaci pomocí optických vláken.



Obr. 1: Dva typické druhy LED

a) LED pro standardní montáž, b) LED pro povrchovou montáž

4.1 Historie

Historie LED sahá do počátků 20. století kdy Henry Round ^[4] objevil princip polovodiče vyzařujícího ve viditelném spektru, nicméně první prakticky užitná svítivá dioda se dostala na trh až v roce 1962. Monochromatické LED našly využití v řadě odvětví, od signalizace, přes optický přenos dat až po desinfekci pomocí UV záření, nicméně pro účely osvětlování jsou prakticky nepoužitelné, vyjma velmi specializovaných oborů, např. infračervený přísvit u noktovizorů. Jedním z kritérií pro vhodný zdroj světla v osvětlovací technice je vysoký index podání barev R_a , kterého lze dosáhnout pouze zdrojem bílého světla s dostatečným zastoupením jednotlivých barevných složek. Ačkoliv první svítící dioda byla veřejnému trhu představena v 60. letech minulého století, modrá LED byla poprvé pro komerční sféru představena teprve v roce 1993, čímž byla definitivně překonána poslední významná překážka bránící prostupu svítivých diod do osvětlovací techniky. Za vynález modré svítivé diody byli v roce 2014 Nobelovou cenou oceněni Isamu Akasaki, Hiroši Amano a Šudži Nakamura ^[2].

4.2 Princip funkce

LED je polovodičový elektronický prvek vybavený pevným PN přechodem. Dotováním polovodičového prvku jiným prvkem, který má ve valenční vrstvě více elektronů (donor, typ N) nebo méně elektronů (akceptor, typ P) než původní prvek a jejich spojením lze získat PN přechod, který má na straně N přebytek elektronů – nosičů záporného náboje - a na straně P elektronů nedostatek. Chybějící elektrony ve valenčních vrstvách lze v tomto případě efektivně substituovat kvazičásticí, kterou nazýváme elektronová díra a přikládáme jí kladný náboj. Vzhledem k tomu, že donory i akceptory jsou pevnou součástí krystalové mřížky PN přechodu, nemohou se samovolně pohybovat a rekombinovat. Pro excitaci elektronů a elektronových děr se v tomto případě užívá elektrického napětí. Při dodání dostatečného množství energie dochází k excitaci elektronu a díry na vyšší energetickou hladinu, jejich uvolnění z valenčních vrstev a rekombinaci na PN přechodu při emisi fotonu. Platí, že energie nutná pro vybuzení páru elektron-díra, tzv. energie zakázaného pásu E_g , je přímo úměrná energii vyzářeného fotonu, a tedy nepřímo úměrná vlnové délce záření:

$$\lambda = \frac{(h \cdot c)}{E_g} \quad (2)$$

kde h je Planckova konstanta a c je rychlost světla. Tím je zajištěno, že záření svítivé diody je prakticky monochromatické, tj. je tvořeno pouze velmi úzkým úsekem spektra záření, udává se desítky až jednotky nm ^[1].

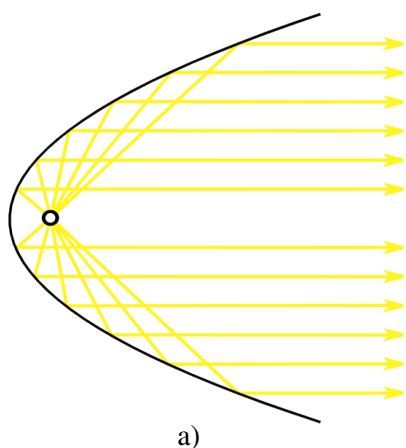
Bílé světlo je dnes pomocí LED získáváno dvěma předními způsoby – RGB dioda a fosforescencí. První způsob používá tříčipovou diodu, kdy jsou na jedné součástce zároveň modrá, červená a zelená LED. Optika diody pak vhodně spojí svazek všech tří barev do jednoho bílého svazku světla. Fosforescence naopak používá samotnou diodu zářící v ultrafialovém nebo modrém spektru a pomocí luminoforu jej celé (UV dioda) nebo jeho části (modrá dioda) posouvá do spektra vyšších vlnových délek (nižších energií) a tím mění modré či ultrafialové světlo na bílé. První metoda, tedy RGB diody, našla dnes využití ve zobrazovací technice ^[3] (např. OLED displeje ^[5]), zatímco úprava modrého či UV záření pomocí luminoforu zcela dominuje v osvětlování.

5 Světlo met

Automobilový světlo met je druh svítidla určený pro směrové osvětlení a výstražné/směrové osvětlení. Světlo mety zpravidla zajišťují funkci potkávací, dálkovou, směrovku, obrysovou, modernější modely i denní svícení a další pokročilejší funkce jako např. vystiňování protijedoucích vozidel, přísvit do zatáček nebo tlumené osvětlení dopravního značení. Způsoby získávání finálního světelného výstupu ze světlo metu pak lze dle principu dělit na reflexi a projekci. Analogicky tak světlo mety lze dělit na reflektory a projektory.

5.1 Reflektor

Reflektory používají k usměrnění světla lesklou (zpravidla pokovenou) parabolu, zdroj světla je umístěn v ohnisku paraboly. Zdrojem světla pro reflektory mohou být žárovky, výbojky ale i LED. Reflektorový světlo met se skládá z vlastního reflektoru, zdroje světla a krycího skla. Reflektor není čistě parabolický a je již konstruován tak, aby zajišťoval všechny požadované světelné funkce a splňoval požadavky na fotometrii (barva světla, gradient, tvar světelné stopy atd.). Posledním prvkem v usměrnění světla je tedy reflektor, což pak propůjčuje název celé sestavě.

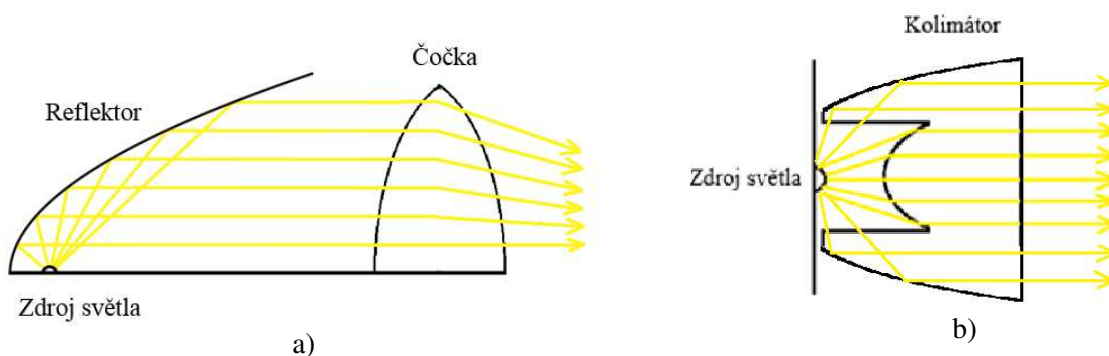


Obr. 2: Reflektor
a) Princip funkce, b) Výrobní provedení

5.2 Projektor

V případě projektorů je vždy posledním prvkem, který usměrňuje světelný výstup, čočka. Projektorů zpravidla lze dle konstrukce dále dělit na dvě skupiny. První skupina se skládá ze zdroje světla, reflektoru a čočky – reflektor zajistí usměrnění veškerého světla do čočky a čočka následně funguje jako kolimátor a zajistí splnění fotometrických požadavků. Jedná se o typ, který může využívat i zdroje světla jako jsou výbojky a žárovky, nicméně není vzácností užití svítivých diod. Výhodou jsou nízké nároky na technologický postup, příznivá cena, nízká hmotnost a nižší nároky na vývoj. Na druhou stranu toto řešení může způsobovat ztrátu až 15% světelného toku produkovaného světelným zdrojem. Také zvyšuje množství dílů ve výrobě a tím zvyšuje celkovou výrobní toleranci finálního produktu.

Druhý typ vypouští užití reflektoru, kolimátor, popř. soustava čoček, je montována do těsné blízkosti zdroje světla a zajišťuje přímo všechny světelné funkce. Pro tento typ se v praxi téměř výhradně užívají povrchově montované LED na desce plošných spojů. Důvodem je, že jiné v automotive běžně využívané zdroje světla (žárovky, výbojky) vyzařují rovnoměrně do kulového prostoru, zatímco vyzařování diody uchycené na nosné destičce se omezuje pouze na poloprostor, je proto jednodušší usměrnit celý světelný tok takové diody. Výhodou tohoto řešení je vysoká účinnost, ztráty v optické soustavě se zpravidla pohybují pod 5%, zároveň je univerzální a lze jeho princip využít u konstrukce jak u dálkových či potkávacích funkcí, tak i denního svícení. Také snižuje počet dílů potřebných při montáži, čímž přispívá ke stabilitě procesu výroby. Nevýhodou je naopak cena takového řešení, vysoká hmotnost, cena, výrazně vyšší nároky na vývoj a kvalitu samotného kolimátoru či celé optické soustavy.



Obr. 3: Princip projektoru
a) první typ (s reflektorem), b) druhý typ (bez reflektoru)



Obr. 4: Výrobní provedení projektoru

5.3 Projektorová sestava L405 LOW

Projektorová sestava světlometu L405 LOW využívá projektorové technologie obou variant, nicméně nejvyšší verze světlometů L405 využívají pouze druhého typu, tedy bez reflektorové technologie. Sestava LOW je konstruována ze dvou modulů: Modulu Low Beam, který zajišťuje potkávací funkci a modulu High Beam, který obstarává funkci dálkovou.

5.3.1 Low Beam

Modul Low Beam (dále také LB unit) je projektorový modul prvního typu využívající svítivých diod. Modul je konstrukčně řešen pasivním hliníkovým chladičem, který je osazen dvěma deskami plošných spojů s trojitou svítivou diodou spol. Osram. Přenos odpadního tepla mezi chladičem PCB a chladičem řešíme jednak již na straně dodavatele PCB, a to pomocí technologie IMS – insulated metal substrate (izolovaný kovový podklad) kde je místo běžného sklolaminátu jakožto nosného prvku desky plošných spojů použita kovová destička s lepšími teplovodnými vlastnostmi, a následně také na úrovni předmontáže během výroby použitím teplovodné pasty nanesené mezi chladič a lůžko elektroniky.

Desky plošných spojů jsou dle obr. 5 zřejmě zcela odlišné a nezaměnitelné. Ačkoliv jsou obě osazeny stejným typem diody, obě slouží k různým účelům. Deska lichoběžníkového tvaru zajišťuje kink část potkávací stopy, deska čtvercového tvaru zajišťuje base část, obojí bude blíže popsáno v části 6.1 Světelná stopa. Elektronika je překryta reflektorem specifickým pro obě desky zvlášť, který zajišťuje usměrnění světelného toku diod směrem k výstupní čočce. Dále je chladič opatřen clonami, jejichž seřizováním je po montáži čočky dosahováno naplnění zákaznických nároků na světelnou stopu.



a)



b)

Obr. 5: Osazený chladič modulu low beam

- a) Bez reflektorů (s clonami a PCB), zelené šipky vyznačují pozice diod,
- b) s reflektory

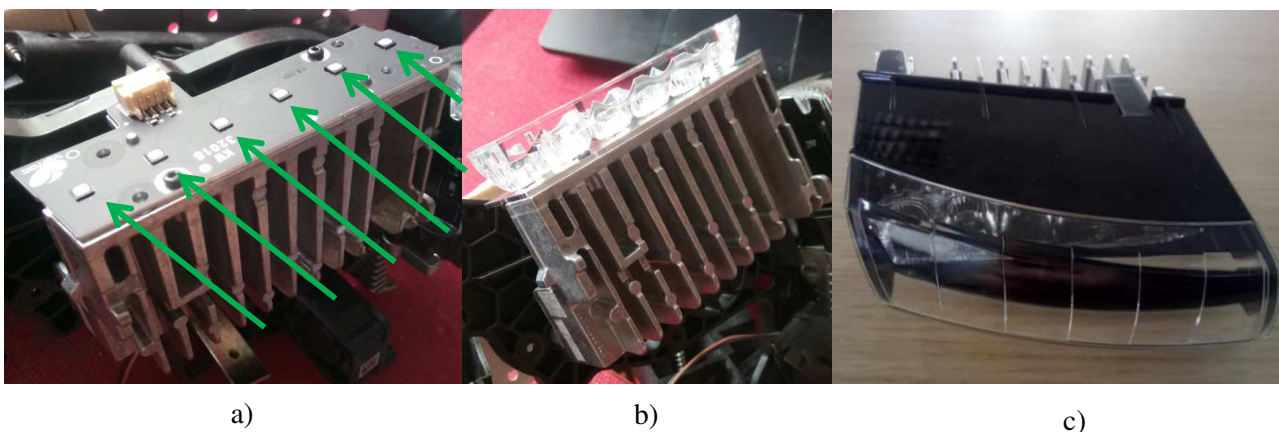
Jako finální krok montáže je na vybavený chladič osazen nosič čočky s čočkou, která spojuje světelné stopy obou reflektorů, upravuje gradient, barvu i další parametry stopy. Tyto parametry jsou kontrolovány měřicími automaty jejich hodnoty porovnávány se zákaznickými požadavky. Bližší popis měřených parametru a jejich vztah ke specifikaci je k nalezení v části 6.1 Světelná stopa.



Obr. 6: Podsestava nosiče a čočky pro LB modul

5.3.2 High Beam

Modul High Beam (dále také HB unit) je projektorový modul druhého typu využívající svítivých diod. Modul je podobně jako v případě modulu LB konstruován jako pasivní hliníkový chladič osazený deskou plošných spojů se šesti svítivými diodami dodávanou společností Osram. PCB je rovněž vyrobeno technologií IMS, nicméně díky velké styčné ploše desky a chladiče zde není nutné aplikovat teplovodnou pastu. Usměrnění světla LED je realizováno kolimátorem montovaným do těsné blízkosti samotných diod. Tím dosahujeme vysoké účinnosti přenosu světla oproti reflektorové technologii užitě v případě LB modulu.



Obr. 7: HB modul

- a) chladič osazený PCB, zelené šipky označují pozice LED, b) chladič osazený PCB a kolimátorem
- c) výrobní provedení s nasazeným nosičem filtru a výstupním filtrem

Použitou technologii výroby jsme zvolili pro optimalizaci výrobního procesu a odstranili co nejvíce proměnných vstupujících do výroby. HB modul sestává pouze z pěti samostatných dílů, je univerzální

pro všechny trhy a je přenositelný i do dalších sesterských projektů. Modul nedisponuje žádnými seřizovacími prvky, jeho samostatné seřízení a testování proto neprovádíme, jeho parametry měříme až při párování s LB modulem.

6 Fotometrie

Dohoda o přijetí harmonizovaných technických předpisů Organizace spojených národů pro kolová vozidla, zařízení a části, které mohou být namontovány a/nebo používány na kolových vozidlech, a o podmínkách pro vzájemné uznávání schválení udělených podle těchto předpisů Organizace spojených národů ^[13] a zejména její přílohy EHK 008 a EHK 128 stanoví závazné požadavky na fotometrické vlastnosti světlometů instalovaných na pozemní vozidla. Zákazník však zpravidla požaduje výrazně přísnější a detailněji specifikované podmínky, které musí světlomet splnit, a to zejména tvar a pozici světelné stopy, gradient, osvětlení v určitých oblastech, světelný tok a barvu světla. Proto se i v následujícím textu bude práce odkazovat pouze na specifikaci danou zákazníkem. K ověření, zda výrobek splňuje nároky na fotometrii, využíváme ve společnosti Varroc Lighting Systems dvou druhů měřicích a seřizovacích automatů: ED testerů pro samotné projektorové moduly a regloskopů pro hotové projektorové sestavy.

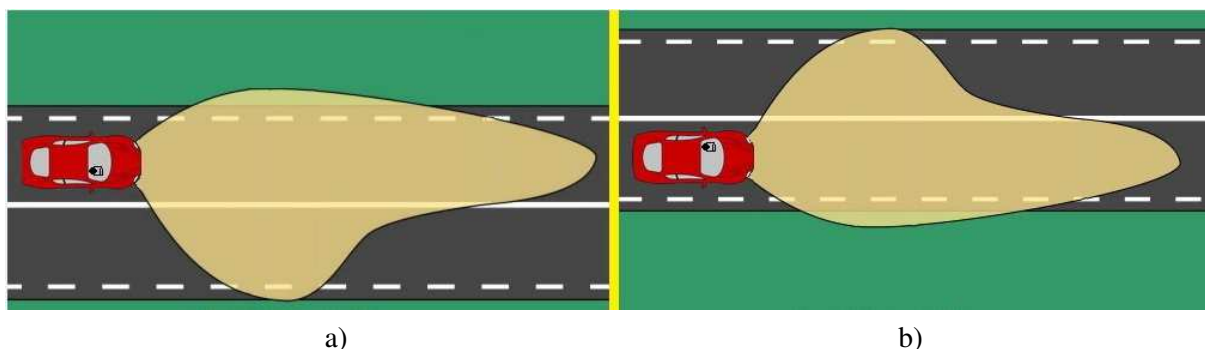
6.1 Světelná stopa

Jedním ze základních požadavků na optický výstup světlometu je tvar světelné stopy. Rozeznáváme zejména stopy potkávací a dálkové, následně také přísvit do zatáček a denní svícení. Stopa musí být navržena tak aby vyhovovala nejen legislativě, ale i přání zákazníka, jehož specifikace je výrazně přísnější než specifikace zákonná. Pro splnění všech podmínek se proto nezřídka užívá několika modulů s různými optickými výstupy, jejichž kombinace pak zajistí požadovanou stopu.

Světlomety s rozvojem technologií plní stále více funkcí. Vzhledem k tomu, že předmětem zájmu této práce je projektorová podsestava osazená pouze moduly potkávacího a dálkového svícení, budou zejména tyto rozebrány podrobněji, ostatní funkce pak okrajově.

6.1.1 Potkávací světla - Low Beam

Potkávací stopa (dále také low beam či LB) slouží k osvětlení prostoru před řidičem za zhoršených světelných podmínek, aniž by docházelo k oslňování protijedoucích řidičů, proto je navržena tak, aby vozovka v protisměru byla osvětlena jen v nejmenším nutném rozsahu a naopak co nejvíce v průběžném směru a také její okolí, např. dopravní značení. Takovou stopu nazýváme asymetrickým potkávacím světlem ^[13].

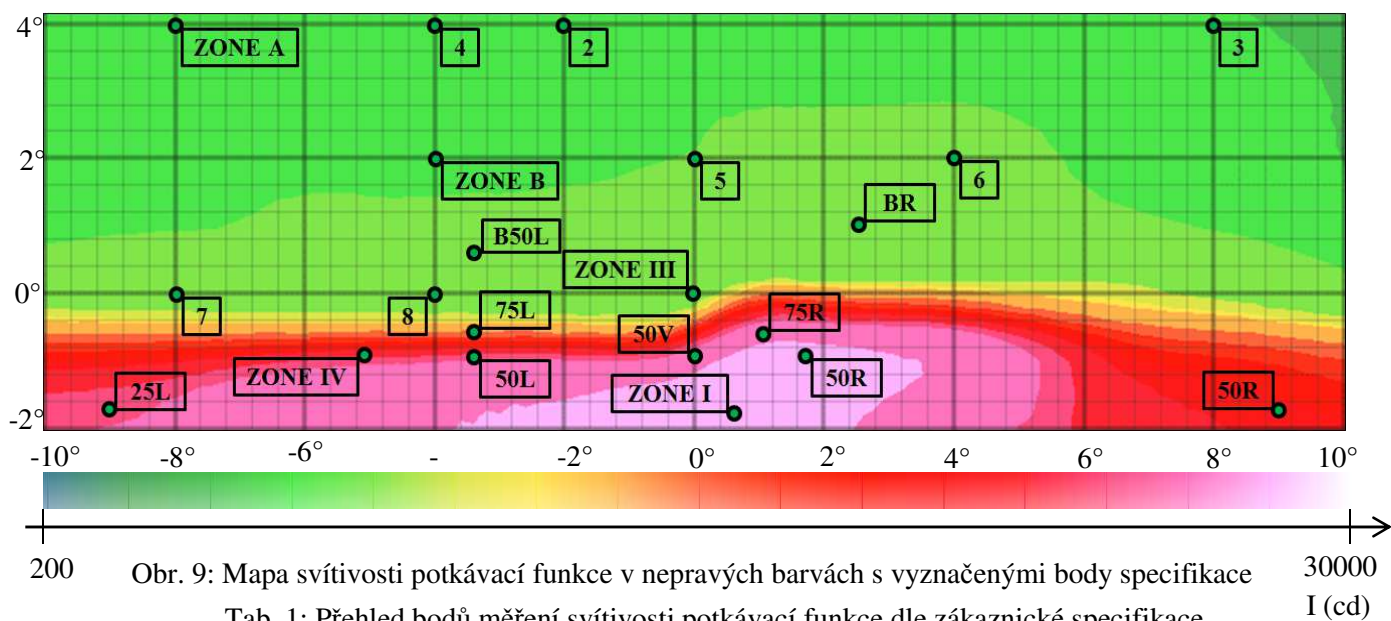


Obr. 8: Tvar stopy asymetrické potkávací funkce

a) pravostranné řízení (Japonsko, Velká Británie); b) levostranné řízení

Z tohoto důvodu se potkávací stopa dělí na tzv. base část a kink část. Různé světlomety mohou zajišťovat všechny funkce jedním samostatným modulem (typicky reflektory), sdružovat různé zdroje světla do jednoho modulu anebo produkovat více světelných svazků odděleně a poté sloučit samotné stopy až při seřízení celého projektoru nebo světlometu. V případě L405 LOW je však potkávací funkce zajišťována

LB modulem, který je osazen dvěma světelnými zdroji (kink a base), jejichž výstupy jsou následně spojeny výstupní čočkou. K měření a seřízení LB stopy využíváme ve VLS automatického ED testeru. Tvar potkávací stopy určí zákaznická specifikace pomocí 21 bodů, ve kterých stanoví limit svítivosti.



Obr. 9: Mapa svítivosti potkávací funkce v nepravých barvách s vyznačenými body specifikace

Tab. 1: Přehled bodů měření svítivosti potkávací funkce dle zákaznické specifikace

| Bod | Vertikální pozice (°) | Horizontální pozice (°) | Limit I (cd) |
|----------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| B50L | 0,57° | -3,43° | < 350 |
| BR | 1,00° | 2,50° | < 1750 |
| 75R | -0,57° | 1,15° | ≥ 10100 |
| 75L | -0,57° | -3,43° | ≤ 10600 |
| 50L | -0,86° | -3,43° | ≤ 18500 |
| 50R | -0,86° | 1,72° | ≥ 10100 |
| 50V | -0,86° | 0,00° | ≥ 5100 |
| 25L | -1,72° | -9,00° | ≥ 1700 |
| 25R | -1,72° | 9,00° | ≥ 1700 |
| ZONE A | 4,00° | -8,00° | > 190 |
| ZONE B | 2,00° | -4,00° | > 375 |
| 2 | 4,00° | 0,00° | ≤ 625 |
| 3 | 4,00° | 8,00° | ≤ 625 |
| 4 | 2,00° | -4,00° | ≤ 625 |
| 5 | 2,00° | 0,00° | ≤ 625 |
| 6 | 2,00° | 4,00° | ≤ 625 |
| 7 | 0,00° | -8,00° | (65;625) |
| 8 | 0,00° | -4,00° | (125;625) |
| ZONE I | -1,80° | 0,60° | ≤ 37635 |
| ZONE III | 0,00° | 0,00° | < 625 |
| ZONE IV | -0,86° | -5,15° | ≥ 2500 |

Base Beam

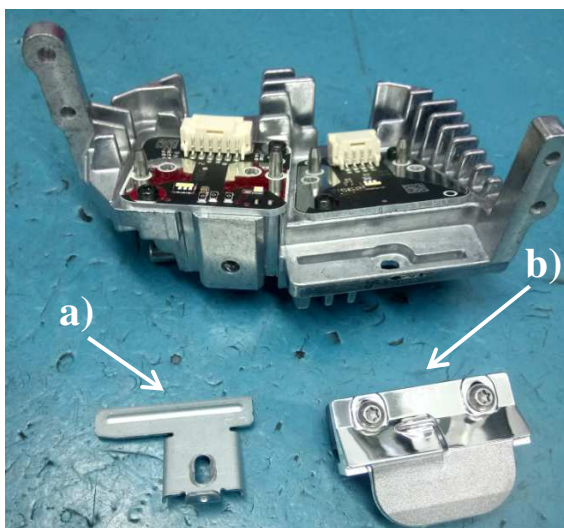
Jedná se o plošnou část potkávací funkce, která rovnoměrně osvětluje široké, ale krátké pásmo prostoru před řidičem. Base beam vždy svítí natolik nízko, aby nikdy neoslnil protijedoucího řidiče, z čehož poté plyne jeho omezení v podobě krátkého dosahu a je nutné jej doplnit stopou kink.

Base část LB unitu je osazena vertikálně stavitelnou clonou, kterou využíváme při seřízení LB stopy.



Obr. 10: Měření pozice base beam

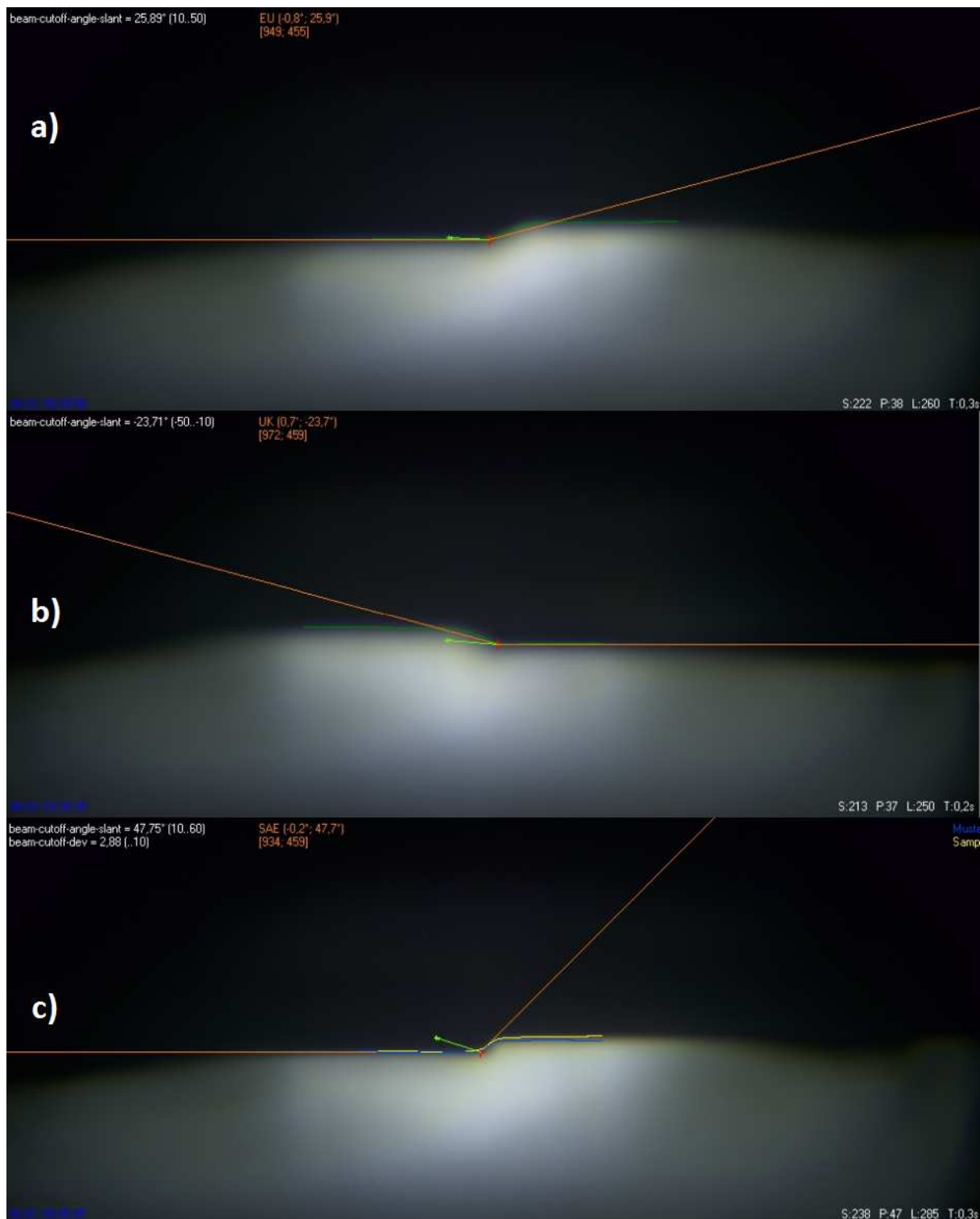
Obrázek č. 10 jsem pořídil při zaměření pozice samostatné base stopy, vodorovné zelené čáry vyznačují povolený rozsah pozic hranice base stopy v intervalu $\langle -0,2^\circ; 0,4^\circ \rangle$, zde naměřená pozice je $-0,02^\circ$. Automat poté dopočítá rozdíl vertikálních pozic mezi jednotlivými stopami a rozhodne, zda je nutné kus seřídit. V takovém případě seřízení probíhá uvolněním clony base části a jejím posouváním podél vertikální osy. Tím dosáhneme ořezu stopy tak, aby kink dosáhl dostatečné prominence. Požadovaný rozsah hodnot, do kterých je base beam seřízen určuje zákaznická specifikace daná body dle tab. 1.



Obr. 11: LB chladič s elektronikou a demontovanými clonami
a) base clona, b) kink clona

Kink Beam

Pro maximalizaci osvětlení vozovky a jejího okolí, zejm. dopravních značek na řidičově straně byla do potkávací funkce zaveden tzv. kink beam. Kink funkce je vždy aktivní společně s plošnou funkcí, která zajišťuje osvětlení okolí v širokém úhlu. Zaměření pozice kink funkce je kritické z pohledu seřízení base beam, kink musí vystupovat nad base hranici.



Obr. 12: Vyhodnocení úhlu HV bodu v LB stopě pomocí ED testeru
a) Levostranné řízení (EU), kink beam vpravo, úhel HV bodu = 25,89°
b) Pravostranné řízení (UK, Japonsko), kink beam vlevo, úhel HV bodu = -23,71°
c) Levostranné řízení (USA), kink beam vpravo, úhel HV bodu = 47,75°

Obr. 12 jsem pořídil během testování tří různých LB modulů pro všechny tři různé trhy: Evropa mimo Velkou Británii (dále také EU), Velká Británie a Japonsko (dále také UK) a severní Amerika (dále také SAE). Ze srovnání na obr. 12 je patrný požadavek zákazníků z různých částí světa na různý tvar světelné stopy. Zejm. v Japonsku či Velké Británii je požadavek dán jízdou v levém pruhu, kink proto musí osvětlovat levou část vozovky. Tvar a orientace kink stopy jsou určeny již při kompletaci LB modulu montáží příslušné clony.

Zda byl zákaznický požadavek splněn je vyhodnoceno měřením úhlu, který mezi sebou svírají kink a base stopy, toto měření zároveň slouží jako pojistka proti případné záměně clon. Tabulka č. 2 uvádí požadované hodnoty a hodnoty naměřené při pořízení obr. 12; sloupec „typický úhel“ pak uvádí aritmetický průměr naměřených úhlů při produkci za měsíc březen 2019.

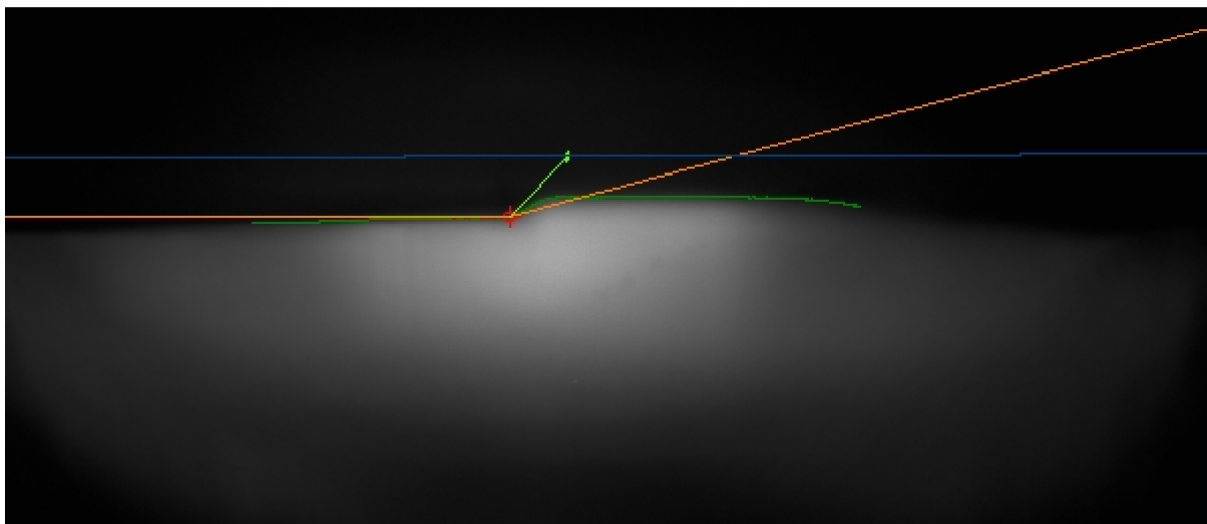
Tab. 2: Přehled požadovaných a měřených úhlů

| Trh | Minimální úhel | Maximální úhel | Naměřený úhel | Typický úhel |
|-----|----------------|----------------|---------------|--------------|
| EU | 10° | 50° | 25,89° | 27,07° |
| UK | -50° | -10° | -23,71° | -23,96° |
| SAE | 10° | 60° | 47,75° | 48,39° |

Místo protnutí toto místo se nazývá HV bodem a jedná se o stěžejní bod fotometrie, který je považován za optický střed světloometu, od něž se následně odvíjejí všechna další seřízení, zejm. dálkové funkce. V obr. 9 výše je pojmenován jako bod ZONE III se souřadnicemi [0;0].

HV bod

HV bod (dále také HV point) je místo, kde se protne stopa kink beam a base beam, jedná se tedy o bod v obraze potkávací stopy. V mapě (obr. 9; popř. tab. 1) potkávacího modulu jej lze najít pod názvem ZONE III a jeho souřadnice jsou [0;0], je tedy považován za optický střed světloometu, vůči kterému se následně porovnávají pozice všech ostatních modulů, zejm. dálkového svícení. V praxi při výrobě projektorů L405 je však pozice HV bodu nastavitelná a přizpůsobuje se naopak pevně usazenému modulu dálkové funkce.



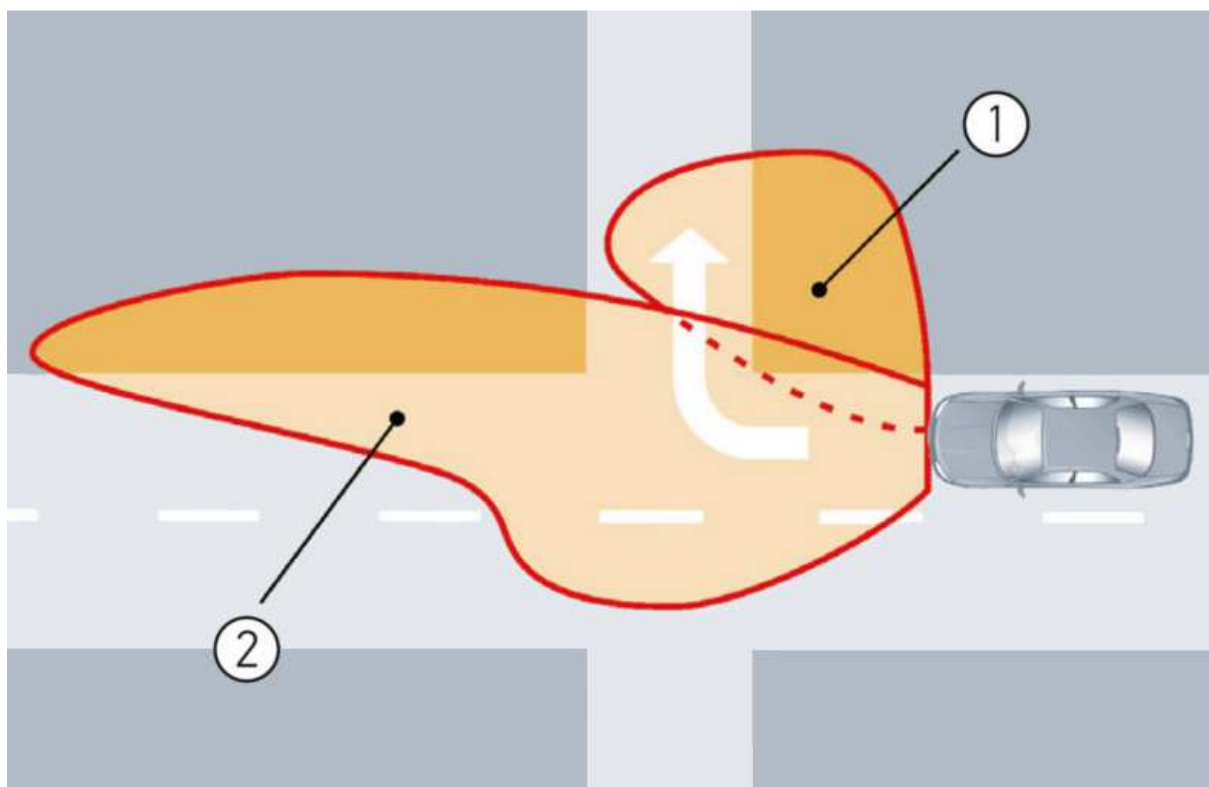
Obr. 13: Zaměření HV bodu při seřizování potkávací funkce

Toto automaticky provádí regloskop, který zprvu rozsvěcuje samotný high beam, změří pozici nejvyšší intenzity osvětlení, poté rozsvítí low beam, změří pozici HV bodu, spočítá nutný posun a následně

provede seřízení. Aby byla po montáži světlometů do vozidla zachována možnost uživatelského nastavení sklonu světlometů v požadovaném rozsahu, je již při měření pozice maximální intenzity HB nastaven povolený rozsah, ve kterém se musí nalezená oblast maxima nacházet. Každý projektor, který překročí tento povolený rozsah je striktně určen k demontáži neboť HB modul nedisponuje seřizovacími prvky, a nelze jej proto seřídit a odeslat k zákazníkovi.

6.1.2 Přísvit do zatáček

Přísvit do zatáček lze zajistit buď pomocí technologie AFS – Adaptive Front-light System (systém adaptivních předních světel), která zajistí natáčení projektoru/reflektoru pomocí servomotoru při zatáčení, anebo pomocí technologie SBL – Static Bending Light (statický přísvit do zatáček). Technologie SBL používá fixně instalovaný zdroj světla navíc, který se rozsvěcí pouze při natočení volantem. Má pevně danou oblast osvětlení a neseřizuje se. Projektorová podsestava L405 LOW není vybavena technologiemi AFS ani SBL, a nedisponuje proto přísvitem do zatáček.



Obr. 14: Tvar stopy potkávací funkce a SBL

1) SBL – statický přísvit; 2) Stopa potkávací funkce (Base beam + Kink beam)

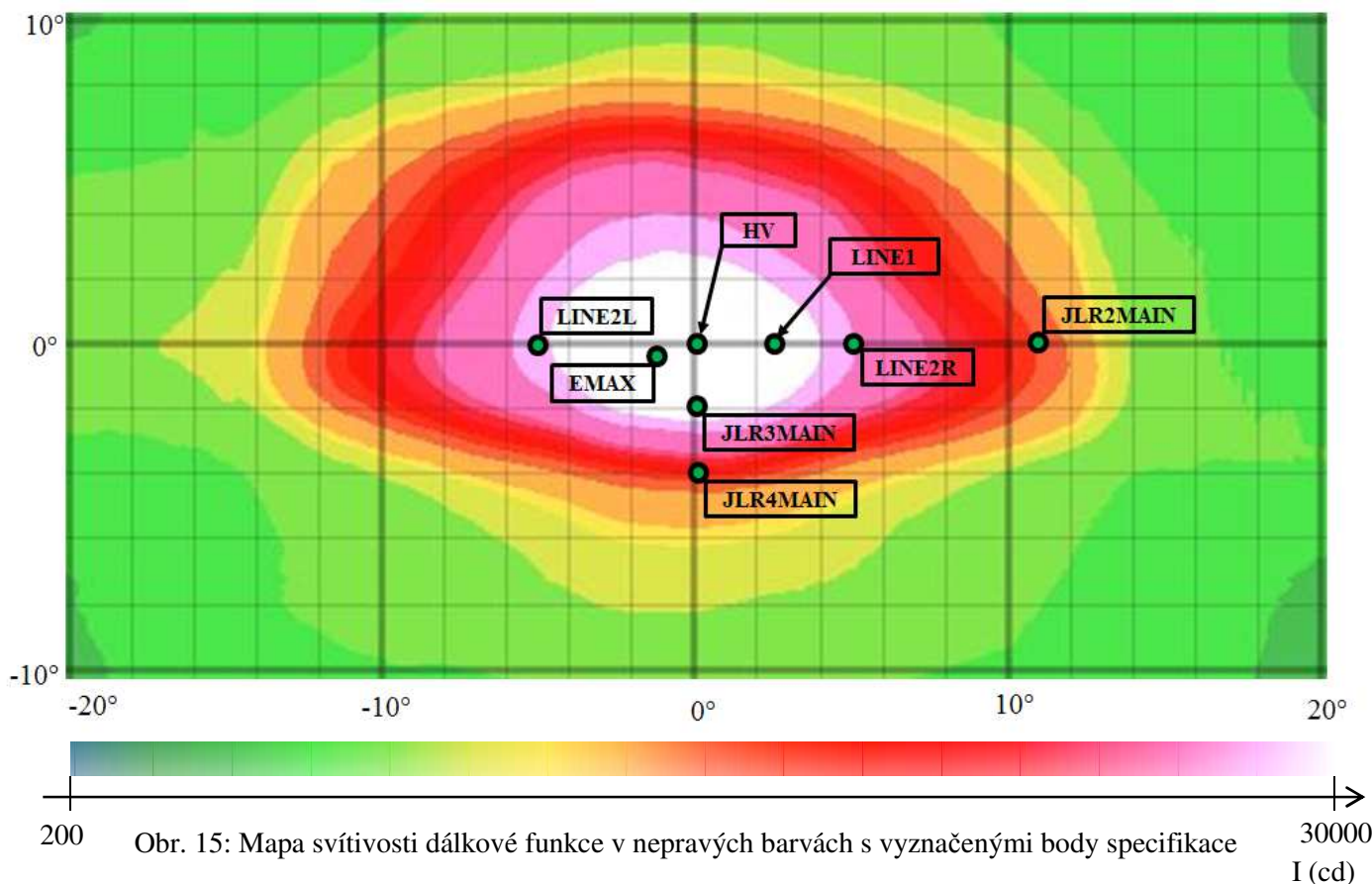
6.1.3 Dálková světla – high beam

Dálková funkce poskytuje velmi intenzivní osvětlení úzké výseče prostoru před řidičem. Nevýhodou je oslňování protijedoucích řidičů. Současným trendem je proto vývoj adaptivních systémů dálkových světel, která mohou být trvale v provozu bez ohledu na ostatní vozidla, např. systém Matrix, který zahrnuje dlouhou popř. vícenásobnou řadu diod, které lze jednotlivě zhasínat a rozsvěcovat tak, aby všichni ostatní řidiči byli vždy ve stínu a nedocházelo k oslnění.

V projektu L405 je užito více podobných systému, a to systém Matrix, který je nasazen ve střední kategorii světlometů (dále také L405 MID) a systém Pixel, který je nasazen v nejvyšší verzi světlometů L405 (dále také L405 HIGH). Obojí je realizováno pomocí technologie ADB – Adaptive Driving Beam (adaptivní potkávací světlo). Pro tyto účely byly ve spolupráci se společností Osram vyvinuty desky

plošných spojů, které jsou osazeny celkem dvaceti svítivými diodami uspořádaných do dvou řad, z nichž každou LED lze jednotlivě ovládat. Projektor verze L405 MID je osazen celkem dvěma takovými deskami, L405 HIGH dokonce čtyřmi, a tedy disponují 40 resp. 80 diodami, jimiž lze před řidiče vykreslit dálkovou funkci, aniž by docházelo k oslňování ostatních účastníků provozu.

Světlomet L405 LOW není vybaven žádnou technologií adaptivních dálkových světel, a proto musí být v případě setkání s dalšími účastníky provozu neaktivní.



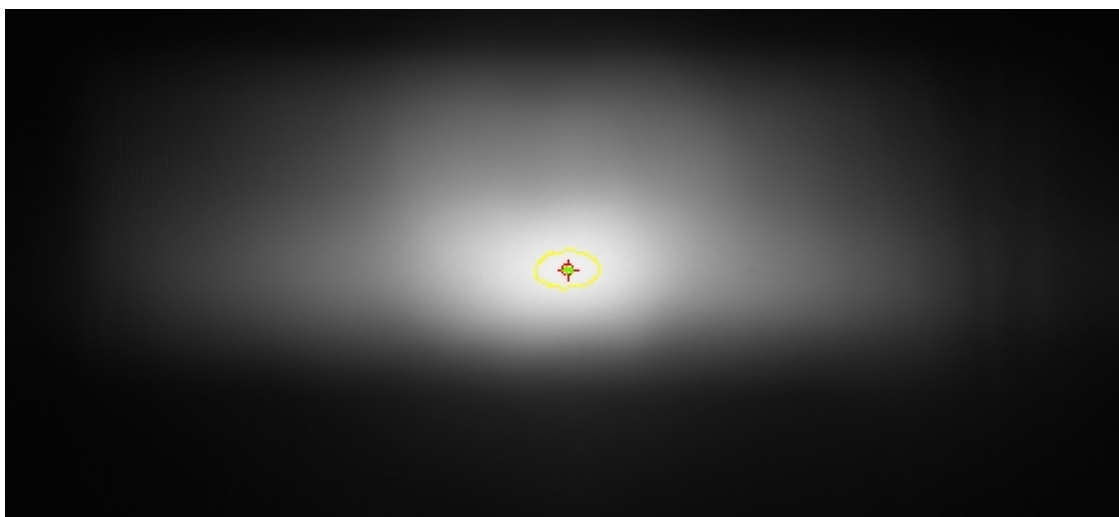
Ačkoliv mapa na obr. 15 zobrazuje svítivost dálkového modulu v závislosti na souřadnicích, zákazník požaduje ve specifikaci dodržení limitu svítivosti pouze v jednom bodě, v ostatních bodech je vyžadováno splnit minimální intenzity osvětlení, a proto je nutné změřené hodnoty přepočítat na osvětlení ve vzdálenosti $l = 25\text{m}$ podle vztahu:

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (3)$$

Tab. 3: Přehled bodů měření svítivosti a intenzity dálkového svícení dle zákaznické specifikace

| Bod | Vertikální pozice (°) | Horizontální pozice (°) | Limit I (cd) | Limit E (lx) |
|----------|-----------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| HV | 0° | 0° | > 47398 | - |
| EMAX | -0,20° | -0,60° | - | < 240 |
| LINE1 | 0,00° | 2,58° | - | >36 |
| LINE2L | 0,00° | -5,14° | - | >16 |
| LINE2R | 0,00° | 5,14° | - | >16 |
| JLR1MAIN | 0,00° | 11,00° | - | >1,6 |
| JLR3MAIN | -2,00° | 0,00° | - | >16 |
| JLR4MAIN | -4,00° | 0,00° | - | >2,4 |

Mapa vykreslená v obr. 15 ukazuje stopu dálkového svícení zkušebního projektoru během mého měření ve fotometrické laboratoři VLS. Za zvláštní pozornost stojí bod HV, který se nachází v optickém středu dálkové funkce. Postup měření projektoru v laboratoři VLS sestával jako první z měření potkávací funkce, kde byl nalezen HV bod a jeho souřadnice následně přeneseny do měření high beam. Tím jsme ověřili, zda HB modul splňuje zákaznickou specifikaci dle tab. 3 a zároveň také, že je projektor korektně seřízen. Z obr. 15 je patrné, že se bod HV nachází v samém středu oblasti s nejvyšší naměřenou svítivostí, čímž je splněna podmínka správného seřízení dle kapitoly 6.1.1 Low beam – HV bod na stranách 21 a 22 této práce.



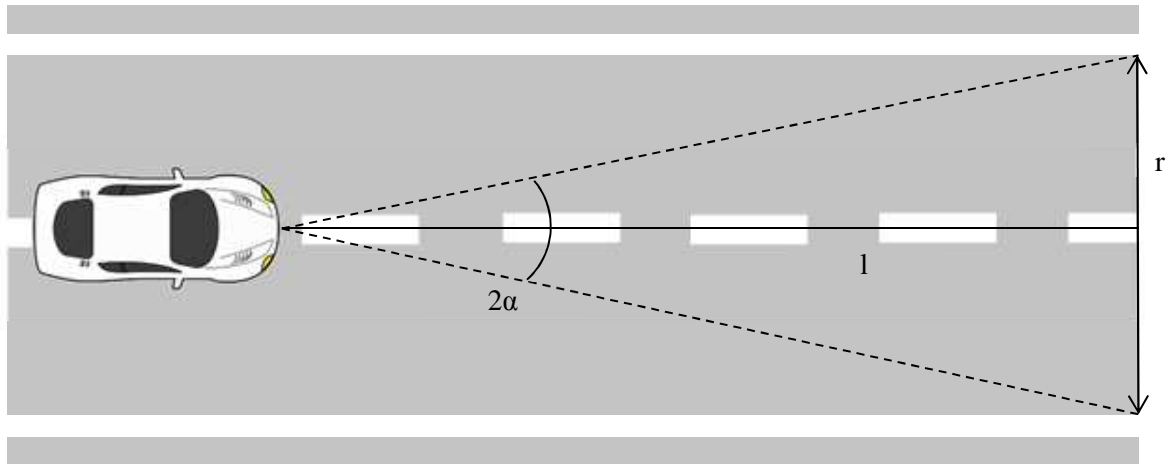
Obr. 16: Měření intenzity modulu HB, $E_{max} = 115,2lx$

Z mapy je dále patrný charakteristický rys a účel dálkového svícení - naprostá většina světelného toku je soustředěna do úzkého prostoru okolo HV bodu, přesněji do kružnice s poloměrem 4° okolo optického středu. Budeme-li předpokládat šířku dvouproudé komunikace $r = 7m$ ^[9], výpočtem podle vzorce:

$$l = \frac{r}{2 \cdot \tan(\alpha)} \quad (4)$$

$$l = 50,05m$$

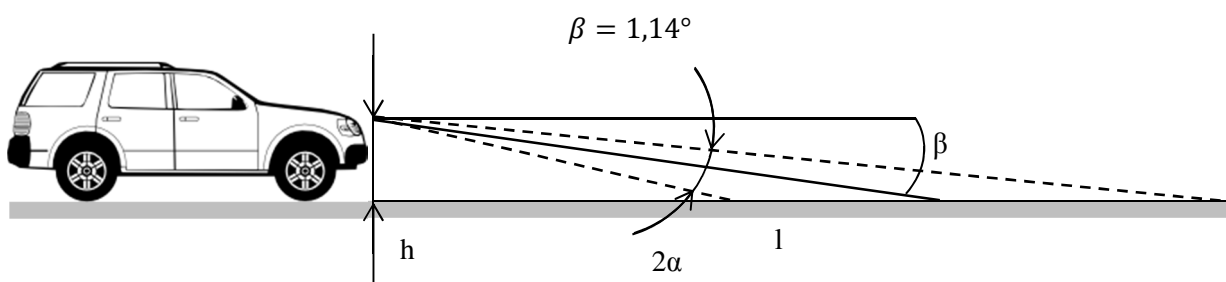
zjistíme, že dálková funkce bude při správném nastavení sklonu světlometů nejefektivněji osvětlovat vozovku ve vzdálenosti cca 50m od vozidla.



Obr. 17: Zobrazení efektivní vzdálenosti osvětlení vozovky

Pokud budeme dále předpokládat výšku svítidla $h=1$ m nad vozovkou dostaneme pomocí vztahu:

$$\beta = 90 - \arctan \frac{l}{h} \quad (5)$$



Obr. 18: Zobrazení efektivního úhlu sklonu světlometů

Sklon modulu, popř. světlometu určeného pro dálkové svícení musí být nastaven na $\gamma=2\%$ ^[10], tj.:

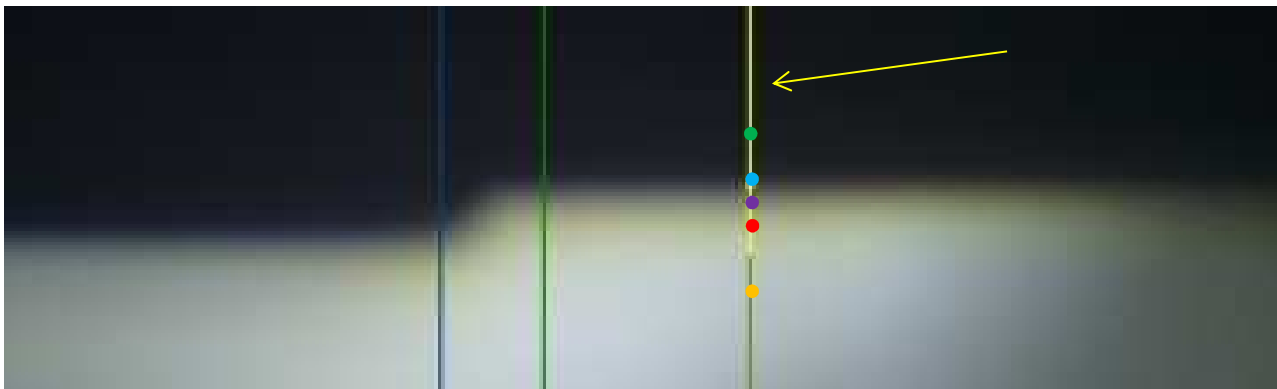
$$\gamma = 100 \cdot \frac{h}{l} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{100}{50,05} = 1,998\%$$

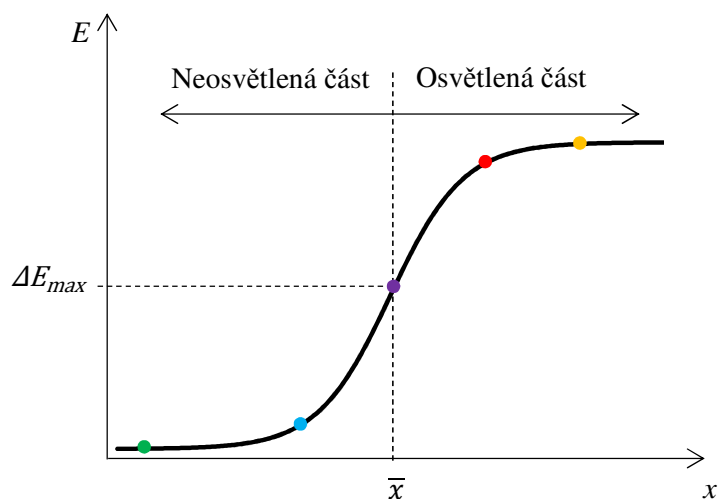
přičemž jsme se ve výpočtu odchýlili o 0,002% což méně než 1% požadované hodnoty. Odchylka je způsobena neznámou přesnou výškou světlometu nad vozovkou a nepřesným odhadem osvětlené oblasti prostým odečtením z naměřené mapy na obr. 15.

6.2 Gradient

Gradientem ve smyslu měření fotometrie světelné stopy rozumíme funkci změny intenzity osvětlení podél přímky vynesené mezi oblast osvětlenou potkávací funkcí a oblast neosvětlenou.



Obr. 19: Měření gradientu na ED testeru
Žlutá šipka značí přímku měření, barevné tečky vybrané body na přímce



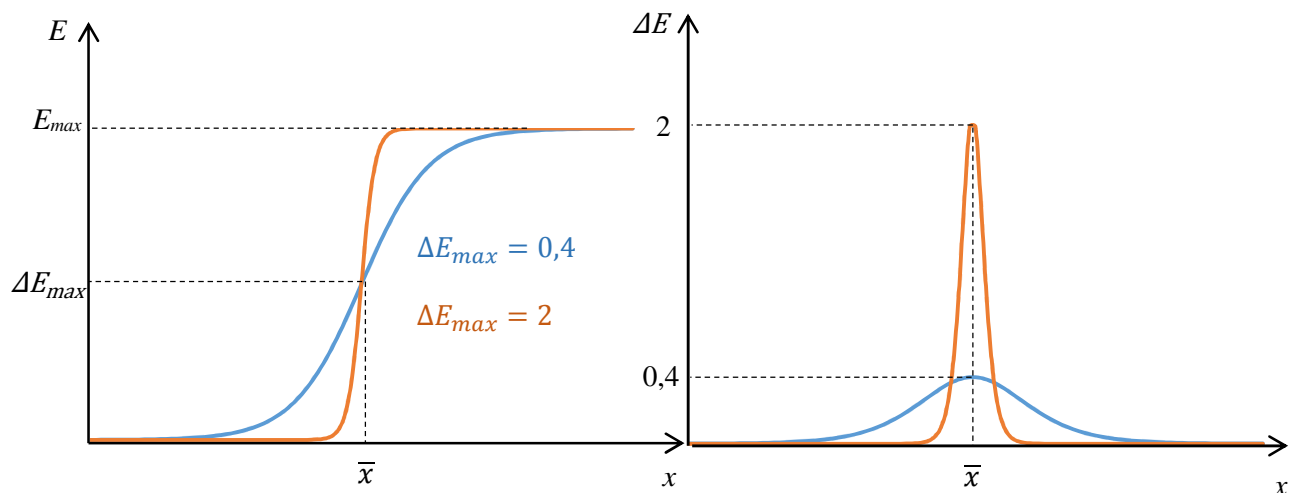
Obr. 20: Idealizovaný průběh intenzity osvětlení podél měřicí přímky
Barevné tečky odpovídají tečkám na obr. 19 výše

Obr. 19 jsem pořídil během měření gradientu testovacího kusu, naměřená hodnota gradientu činí $\Delta E_{max} = 0,287$. Přímka měření gradientu je vyznačena žlutou šipkou a vybrané body měření jsou pro názornost přeneseny pomocí barevných teček do grafu idealizovaného průběhu. Matematicky můžeme takový idealizovaný průběh popsat jako derivaci změny intenzity osvětlení E podle pozice x na měřicí přímce:

$$\Delta E = \frac{dE(\bar{x})}{dx} \quad (7)$$

kde hledaný gradient ΔE_{max} nalezneme v inflexním bodě \bar{x} funkce ΔE :

$$\Delta E_{max} = \Delta E(\bar{x}) \quad (8)$$



Obr. 21: Vizualizace vztahu mezi gradientem a průběhem intenzity osvětlení podle pozice na přímce

V praxi je však každý modul mírně odlišný a aproximace průběhu gradientu každé stopy by kladla příliš vysoké nároky na výpočetní software ED testeru, proto používáme diskrétní metodu zjišťování gradientu. ED tester změří podél vyznačené přímky soubor hodnot intenzity osvětlení o velikosti n a gradient nalezne jako nejvyšší hodnotu pomocí numerické derivace:

$$\Delta E_{\max} = \max \left(\frac{E(x_{n+1}) - E(x_n)}{x_{n+1} - x_n} \right) \quad (9)$$

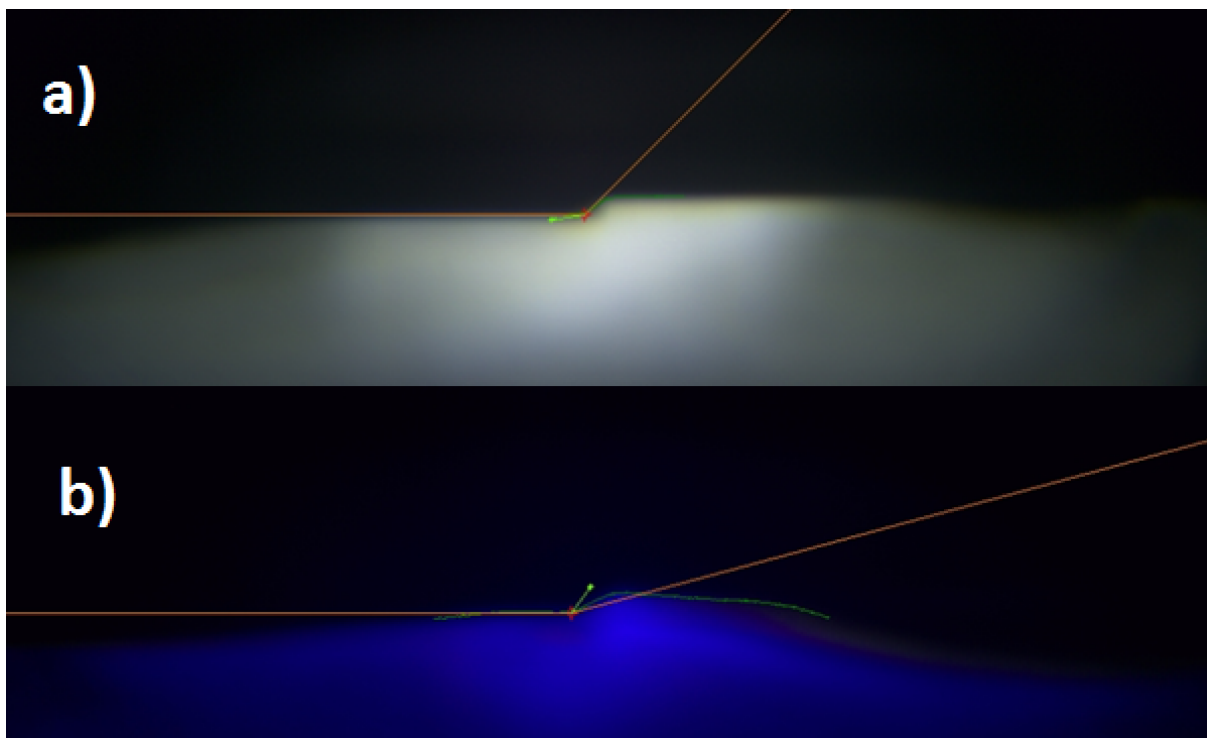
Gradient má smysl měřit pouze u potkávací funkce, neboť ta svým tvarem stopy vytváří vodorovnou hranici. Výsledná ostrost této hranice je pak dána zejména výstupní čočkou. Cílem je mít gradient $\Delta E_{\max} = 0,25$ nicméně výrobní tolerance připouští rozptyl v rozsahu $<0,1;0,4>$. Vyšší gradient je již nežádoucí neboť v příliš ostrém přechodu mezi světlem a tmou se ztrácí vjem hloubky.



Obr. 22: Měření gradientu na stopě LB
 $\Delta E_{\max} = 0,287$

6.3 Barva

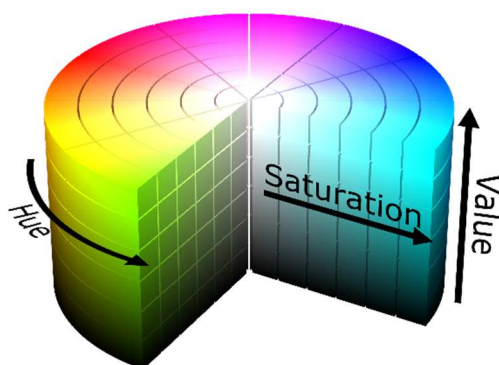
Kvůli užití svítivých diod je kladen velký důraz na měření kolorimetrie výstupního světla. Použité diody produkují bílé světlo přeměnou části modrého záření na červené a zelené světlo pomocí luminoforu, který je nanesen přímo na samotnou diodu. V případě poškození fluorescenční vrstvy by pak světelný výstup světlometu nesplňoval požadavky na index podání barev, což by přímo ovlivnilo schopnost řidiče rozpoznávat osvětlené objekty.



Obr. 23: Měření barvy stopy potkávací funkce
a) Správná LB stopa, b) LB stopa s poškozenou vrstvou luminoforu

Z produkční série jsem odebral jeden LB modul, z jehož svítivých diod jsem odstranil vrstvu luminoforu. Rozdíl v barvě světelné stopy je patrný z obr. 22 na první pohled, dioda produkuje modré světlo, které již není dále přeměňováno luminoforem na delší vlnové délky.

Barva je měřena automatickým ED testerem a je vyhodnocována pomocí barevného modelu HSV. Model HSV posuzuje obraz z hlediska odstínu (H – Hue), sytosti (S – Saturation) a jasu (V – value) ^[11].



Obr. 24: Vizualizace modelu HSV

Sytost barvy udává poměr čistého odstínu k podílu bílé barvy v procentech, tj. $S=100\%$ bude vyjadřovat dokonale sytou barvu, $S=0\%$ pak bude označovat bílou, šedou či černou v závislosti na jasu. Sytost však není specifikována zákazníkem, a proto není předmětem našeho měření.

Jas v podání modelu HSV vyjadřuje schopnost dané barvy odrážet/vyzařovat světlo dané vlnové délky (odstínu), má i svou fyzikální interpretaci jakožto měrná svítivost povrchu v cd/m^2 :

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \alpha} \quad (10)$$

kde I je svítivost povrchu v kandelách, S jeho plocha ve čtverečních metrech a α je pozorovací úhel. Měření jasu pro účely fotometrie světlometu nepoužíváme, neboť zářivá plocha projektoru je výrazně menší než plocha osvětlená a nahrazujeme jej měřením mapy svítivosti dle zákaznické specifikace.

Odstín je základním parametrem pro vyhodnocení barvy obrazu. Má svou fyzikální interpretaci v podobě vlnové délky světla odraženého/vyzářeného zkoumaným objektem. HSV model jej převádí do barevného kruhu a může tedy nabývat hodnot $\langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$.



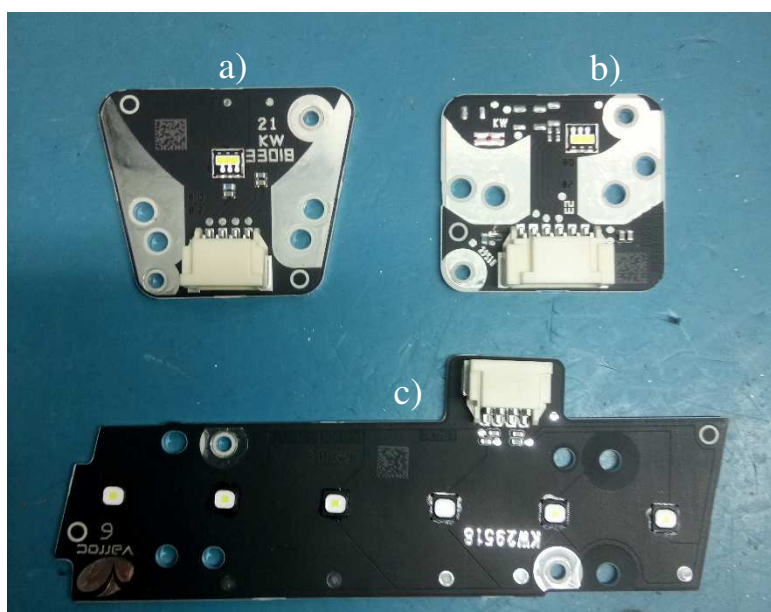
Obr. 25: Stupnice odstínů používaná ve VLS

Zelené čáry značí povolený rozsah, červená čára hodnotu naměřenou na stopě bez vrstvy luminoforu na obr.

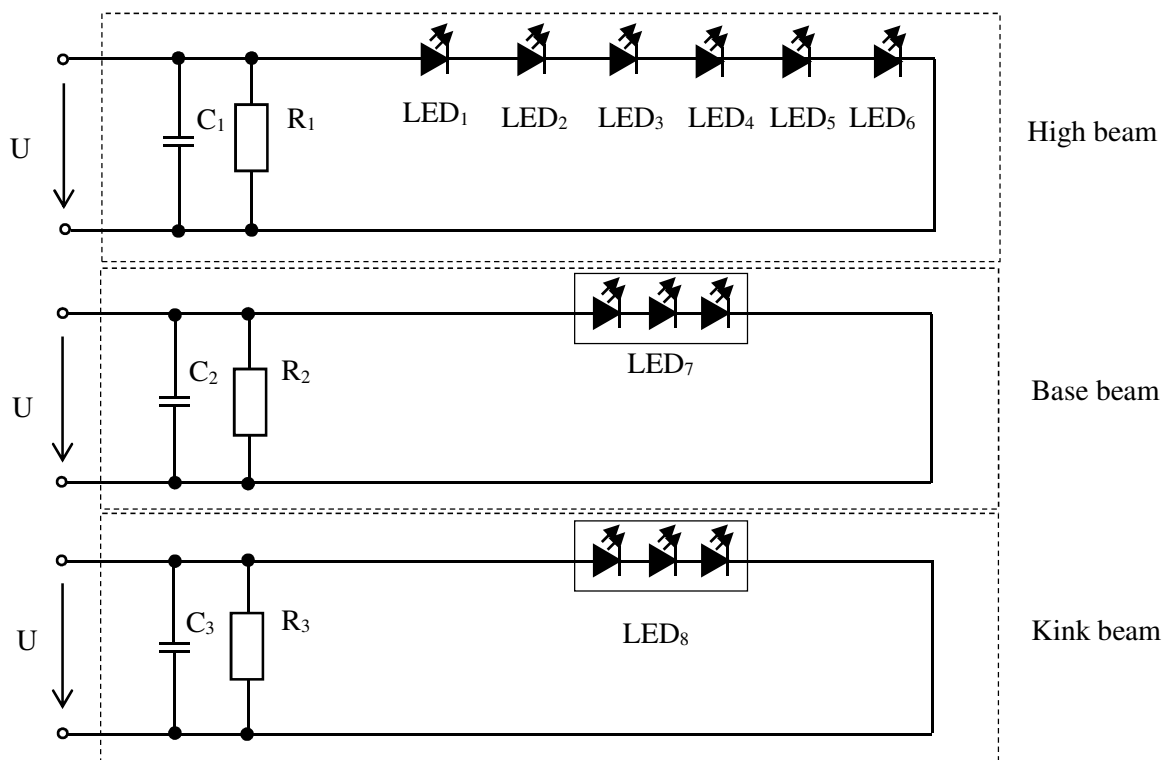
Rozsah povolených barevných odstínů je dán zákaznickou specifikací v rozsahu $\langle -70^\circ; 70^\circ \rangle$. Díky cyklickému charakteru barevného kola modelu HSV neztrácí tento limit smysl a lze jej interpretovat jako $\langle 0^\circ; 70^\circ \rangle \cup \langle 290^\circ; 360^\circ \rangle$. Při zkoušení stopy na obr. 22 byl v případě dobrého modulu naměřen odstín $1,27^\circ$ a v případě vadného modulu s poškozenou vrstvou luminoforu $86,2^\circ$.

7 Zapojení a specifikace

Projektorová podsestava je osazena celkem třemi deskami plošných spojů se svítivými diodami. Desky kink a base beam jsou osazeny po jedné trojité diodě Osram o jmenovitém napětí 9,2V, světelném toku 800-1120lm a svítivosti 270,6-391,1cd^[7]. Deska high beam je osazena šesti jednotlivými LED Osram o jmenovitém napětí 3,05V, světelném toku 280-400lm a svítivosti 87,5-124,6cd^[8]. Desky jsou vyrobeny technologií IMS – Insulated Metal Substrate (izolovaný kovový podklad)^[6] kde je nosným prvkem namísto běžného sklolaminátu kovová destička.



Obr. 26: Jednotlivé desky plošných spojů
a) Kink beam, b) base beam, c) high beam



Obr. 27: Schéma zapojení projektorové podsestavy během měření

Spol. Osram dodává desky osazené svítivými diodami v několika třídách svítivosti, které se souhrnně označují jako tzv. bin. Tyto se liší jak úrovní svítivosti, tak napájecími parametry a jejich soupis je součástí katalogového listu příslušného daným diodám. ^{[7][8]} Ve společnosti Varroc Lighting Systems používáme pro zajištění vysoké konzistence mezi jednotlivými projektory a ke splnění zákaznických požadavků pouze následující biny:

Tab. 4: Tabulky používaných binů

| Bin | Napájecí proud (mA) | Typická svítivost (cd) | Světelný tok (lm) |
|------------------|---------------------|------------------------|-------------------|
| Low beam | | | |
| 7Q | 1000 | 313,5 | 900-1000 |
| 8Q | 1000 | 349,8 | 1000-1120 |
| 5R | 880 | 391,1 | 1120-1250 |
| High beam | | | |
| 6N | 1000 | 110,6 | 315-355 |
| 7N | 1000 | 124,6 | 355-400 |

8 Měření

Předmětem srovnání měření mezi laboratořemi spol. Varroc a VŠB jsou parametry osvětlení a svítivosti v různých bodech světelné stopy projektorové podsestavy L405, a to konkrétně modulů zajišťujících potkávací a dálkovou funkci, vymezené zákaznickou specifikací. Tyto parametry byly již blíže představeny v kapitolách 6.1.1 Potkávací světla a 6.1.3 Dálková světla.

Měření v laboratoři Varroc jsem provedl pomocí počítačem řízeného goniofotometru. Během tohoto měření byla změřena a vykreslena celková mapa svítivosti pro moduly Low Beam i High Beam ve vertikálním rozsahu -30° až 30° a v horizontálním rozsahu -90° až 90° . K vyhodnocení vůči zákaznické specifikaci bylo užito interního programu Bright Aspect.

Měřicí úloha ve fotometrické laboratoři Vysoké školy báňské započala upnutím projektorové pomoci úchytných bodů na desku počítačem ovládaného goniofotometru a připojením potkávacího modulu k napájecímu zdroji. Zdroj byl uveden do provozu, ověřeny biny jednotlivých PCB projektoru a výstup zdroje proudově omezen podle zjištěných binů.

Tab. 5: Tabulka napájecích parametrů při měření v laboratoři VŠB

| Modul | Bin | I (mA) | U (V) |
|-----------|-----|--------|-------|
| Base beam | 6N | 1010 | 8,6 |
| Kink beam | 8Q | 1010 | 8,6 |
| High beam | 8Q | 1010 | 16,8 |

Následně byl vyhledán HV bod a podle jeho souřadnic přepočítány měřicí body jak pro modul low beam tak i pro high beam. Souřadnice jednotlivých bodů byly do goniofotometru zadávány manuálně, následně byly odečítány hodnoty svítivosti. Po dokončení práce s LB modulem byl připojen k napájení high beam, měření pokračovalo stejně. Jako výchozí optický střed byl použit HV bod zjištěný při měření LB modulu. Po přepočtu souřadnic dosazením pozice HV bodu byly opět v bodech určených zákaznickou specifikací změřeny svítivosti a tyto pak přepočítány na intenzitu osvětlení ve vzdálenosti 25m podle vztahu:

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (11)$$

Výsledky měření a přepočtů jsou v tabulkách č. 6 a č. 7 níže.

Tab. 6: Tabulka přepočtených hodnot intenzity osvětlení na 25m a srovnání mezi Varroc a VŠB

| Bod | Vertikální pozice (°) | Horizontální pozice (°) | Limit E (lx) | E (lx) | | Odchylka | |
|-----------|--------------------------|----------------------------|--------------|--------|-------|----------|---------|
| | | | | Varroc | VŠB | lx | % |
| High beam | | | | | | | |
| EMAX | -0,20° | -0,60° | < 240 | 94,8 | 91,81 | 2,99 | 3,15% |
| LINE1 | 0,00° | 2,58° | >36 | 60,6 | 55,58 | 5,02 | 8,29% |
| LINE2L | 0,00° | -5,14° | >16 | 32,10 | 39,36 | -7,26 | -22,62% |
| LINE2R | 0,00° | 5,14° | >16 | 25,00 | 25,68 | -0,68 | -2,74% |
| JLR1MAIN | 0,00° | 11,00° | >1,6 | 3,56 | 3,12 | 0,44 | 12,40% |
| JLR3MAIN | -2,00° | 0,00° | >16 | 50,80 | 38,58 | 12,22 | 24,06% |
| JLR4MAIN | -4,00° | 0,00° | >2,4 | 4,80 | 3,09 | 1,71 | 35,67% |

Tab. 7: Tabulka naměřených hodnot svítivosti a srovnání mezi Varroc a VŠB

| Bod | Vertikální pozice (°) | Horizontální pozice (°) | Limit I (cd) | I (cd) | | Odchylka | |
|-----------|--------------------------|----------------------------|--------------|--------|-------|----------|---------|
| | | | | Varroc | VŠB | cd | % |
| Low beam | | | | | | | |
| B50L | 0,57° | -3,43° | < 350 | 179 | 128 | 51 | 28,49% |
| BR | 1,00° | 2,50° | < 1750 | 208 | 157 | 51 | 24,52% |
| 75R | -0,57° | 1,15° | ≥ 10100 | 12468 | 12577 | -109 | -0,87% |
| 75L | -0,57° | -3,43° | ≤ 10600 | 1776 | 3028 | -1252 | -70,50% |
| 50L | -0,86° | -3,43° | ≤ 18500 | 5732 | 6829 | -1097 | -19,14% |
| 50R | -0,86° | 1,72° | ≥ 10100 | 18818 | 17332 | 1486 | 7,90% |
| 50V | -0,86° | 0,00° | ≥ 5100 | 9392 | 9280 | 112 | 1,19% |
| 25L | -1,72° | -9,00° | ≥ 1700 | 7424 | 5912 | 1512 | 20,37% |
| 25R | -1,72° | 9,00° | ≥ 1700 | 4166 | 3290 | 876 | 21,03% |
| ZONE A | 4,00° | -8,00° | > 190 | 314 | 75,21 | 239 | 76,04% |
| ZONE B | 2,00° | -4,00° | > 375 | 485 | 470 | 428 | 88,22% |
| 2 | 4,00° | 0,00° | ≤ 625 | 127 | 94,83 | 33 | 26,09% |
| 3 | 4,00° | 8,00° | ≤ 625 | 88,2 | 64 | 24 | 27,49% |
| 4 | 2,00° | -4,00° | ≤ 625 | 145 | 57,14 | 88 | 60,59% |
| 5 | 2,00° | 0,00° | ≤ 625 | 161 | 120 | 41 | 25,47% |
| 6 | 2,00° | 4,00° | ≤ 625 | 179 | 131 | 48 | 26,82% |
| 7 | 0,00° | -8,00° | (65;625) | 198 | 394 | -196 | -98,99% |
| 8 | 0,00° | -4,00° | (125;625) | 189 | 242 | -53 | -28,04% |
| ZONE I | -1,80° | 0,60° | ≤ 37635 | 23711 | 18430 | 5281 | 22,27% |
| ZONE III | 0,00° | 0,00° | < 625 | 238 | 239 | -1 | -0,42% |
| ZONE IV | -0,86° | -5,15° | ≥ 2500 | 5102 | 6462 | -1360 | -26,66% |
| High beam | | | | | | | |
| HV | 0° | 0° | > 47398 | 57857 | 55467 | | 4,13% |

9 Návrh využití k výuce

Projektorová podsestava jakožto LED svítidlo a hlavní prvek světloometu nalezne uplatnění v laboratoři fotometrie, a to zejména při výuce studentů osvětlovací techniky a automotive osvětlení. Tato část práce nastíní možnost takového využití formou měření svítivosti dálkové funkce a stanovení jejího měrného výkonu.



Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektrotechniky

Laboratorní úloha

Určení měrného výkonu dálkové funkce automobilového světlometu

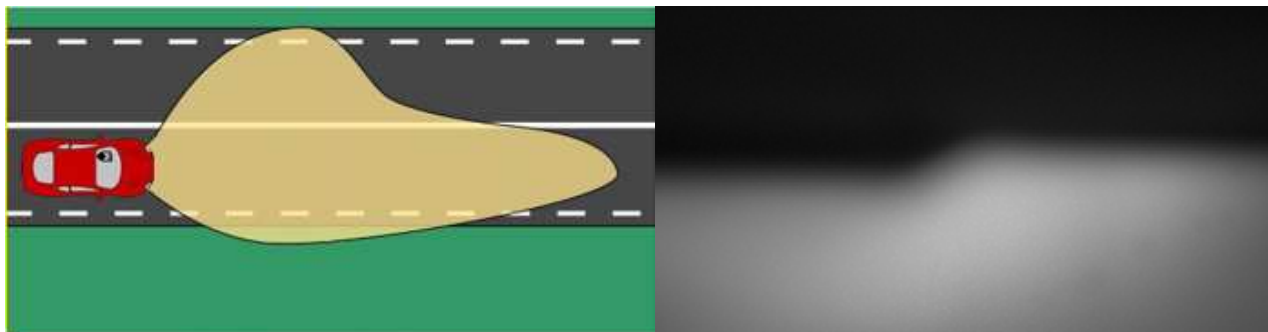
| Jména studentů | Login | Studijní skupina |
|----------------|-------|------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Datum odevzdání:

Hodnocení:

Teoretický rozbor

Hlavní funkcí automobilového světlometu je zajišťovat dálkové a potkávací svícení. Moderní světlometry jsou již konstruovány s potkávací funkcí vyzařující asymetrické světlo, kdy světlomet v protisměru osvětluje pouze krátký úsek tak, aby neoslňoval protijedoucí řidiče, a naopak svítí dále v průběžném směru. Posvítíme-li takovým světlometem na plochu kolmou ke směru jeho vyzařování, stopa vykreslená na danou plochu bude vypadat následovně:



Obr. 1: Stopa potkávacího světla na vozovce a na svislé stěně

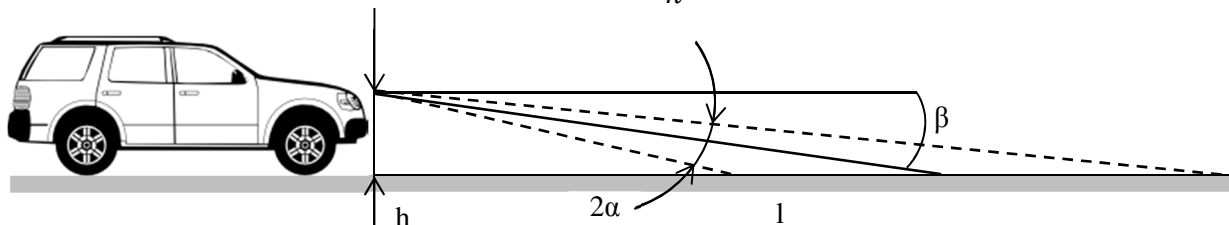
Stopa na obrázku vpravo se dělí na část plošnou – base beam a část asymetrickou – kink beam. Base beam zajišťuje osvětlení v levé části obrázku a je charakteristický rovnou hranicí. „Schod“ ve stopě je tvořen kink částí. Klín vytvořený průnikem asymetrické a plošné stopy se nazývá bodem HV a považuje se za optický střed světlometu, podle nějž se světlomet seřizuje na automobilu nebo do nějž se seřizuje maximum dálkové funkce.

Dálková funkce má za cíl osvětlit prostor před řidičem ve větší vzdálenosti než funkce potkávací. Poznačíme-li na stěnu zjištěnou pozici HV bodu potkávací funkce, musí být nejvyšší intenzita dálkové funkce seřizena právě do tohoto bodu, oblast nejvyšší intenzity se pak pohybuje v okruhu $\alpha = 4^\circ$ okolo HV bodu. Budeme-li předpokládat šířku vozovky $r = 7$ m, lze podle vzorce:

$$l = \frac{r}{2 \cdot \tan(\alpha)} \quad (1)$$

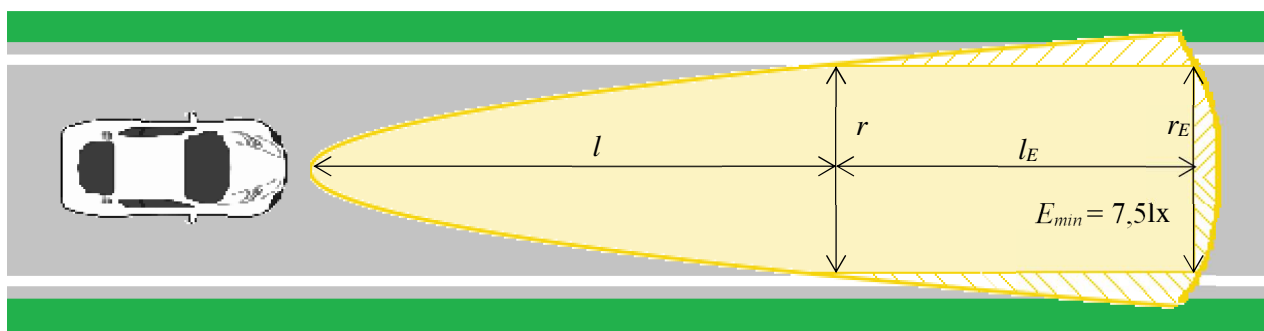
určit mezní vzdálenost l , kdy bude právě celá šířka vozovky osvětlena oblastí nejvyšší intenzity. Budeme-li dále předpokládat výšku světlometu nad povrchem vozovky $h = 1$ m, můžeme zjistit potřebný sklon světlometu vůči jeho normále β , který zajistí, že se bod HV bude nalézat ve vzdálenosti l :

$$\beta = 90 - \arctan \frac{l}{h} \quad (2)$$



Obr. 2: Zobrazení efektivního úhlu sklonu světlometů

Pro $\beta < 4^\circ$ bude mít osvětlená část vozovky tvar paraboly, pro $\beta \in (4^\circ; 90^\circ)$ tvar elipsy a pro $\beta = 90^\circ$ tvar kruhu. Předpokládejme, že za nejnižší přijatelnou hodnotou intenzity osvětlení vozovky pro účely této úlohy budeme považovat $E_{min} = 7,5 \text{ lx}$.



Obr. 3: Vizualizace plochy osvětlené dálkovým světlem

Obsah parabolické části plochy před vozidlem určíme jako:

$$S_p = 2 \cdot \int_0^l \frac{r}{2 \cdot l} \sqrt{l} \, dl \quad (3)$$

Zbývající část vozovky určíme pomocí měření. Pro zjednodušení budeme považovat za hranici nejnižší intenzity první bod, ve kterém naměříme $E \leq E_{min}$. Protože předmětem našeho zájmu je osvětlení pouze vozovky a nikoliv krajnic či terénu, určíme zbývající část osvětlené vozovky jako:

$$S_o = l_E \cdot r \quad (4)$$

kde l_E je vzdálenost mezi přímkou r_E vynesenu v bodě prvního poklesu intenzity pod E_{min} a přímkou r .

Poté z již známé plochy a průměrné svítivosti můžeme vypočítat světelný tok Φ :

$$\Phi = \bar{E} \cdot (S_p + S_o) \quad (5)$$

a se známými napájecími parametry lze určit měrný světelný výkon dálkové funkce:

$$\eta_z = \frac{\Phi}{P} = \frac{\Phi}{U \cdot I} \quad (6)$$

Postup měření

- a) Upneme projektorovou podsestavu na přípravek goniofotometru, připojíme napájení potkávací funkce (low beam).
- b) Manuálně nastavíme stopu potkávací funkce tak, ať se fotočlánek luxmetru nachází v bodu HV, zaznameníme souřadnice, odpojíme potkávací funkci a připojíme funkci dálkovou.
- c) Změříme oblast nejvyšší intenzity v oblasti $V[-4^\circ;4^\circ]$, $H[-4^\circ;4^\circ]$, souřadnice přepočítáme podle zjištěné pozice optického středu (HV bodu).
- d) Měříme postupně intenzitu v celém zadaném rozsahu, krok volíme podle požadavků na přesnost měření, ne však více než $0,5^\circ$.
- e) Vypočteme vzdálenost l podle vztahu (1), poznačíme vzdálenost projektoru od luxmetru l_i a vypočteme intenzitu HV bodu ve vzdálenosti l podle vztahu:

$$E_{HV} = \frac{l_i^2}{l^2} E_n \quad (7)$$

- f) Přepočteme vzdálenost l pro každý změřený bod zvlášť podle vztahu:

$$l_n = \sqrt{[\operatorname{tg}(\gamma)l]^2 + [\operatorname{tg}(\delta)l]^2 + l^2} \quad (8)$$

kde γ je vertikální souřadnice bodu a δ je horizontální souřadnice bodu.

- g) Podle vztahu (7) přepočteme intenzity osvětlení na zjištěné vzdálenosti.
- h) Nalezneme vzdálenost, při které intenzita osvětlení poklesne pod $7,5\text{lx}$ a vypočteme osvětlenou plochu.
- i) Vypočteme průměrné osvětlení, světelnou plochu a měrný světelný výkon.

10 Závěr

Cílem této práce je zjištění výstupních parametrů projektorové podsestavy projektu L405 LOW za jmenovitých napájecích parametrů a normálních podmínek a dále srovnat měřicí metodiku fotometrických vlastností projektoru mezi dvěma laboratořemi určených k měření fotometrie a vzájemnou přenositelnost metodiky. Toho bylo dosaženo provedením změřením tvaru stopy a jejích vlastností v oblasti stanovené zákaznickou specifikací.

Teoretická část pojednává o sledovaných parametrech světelného výstupu projektoru a pomáhá přiblížit, kde se pohybují meze legality pro daný výrobek, a to zejména tvar jeho světelné stopy. Ten je přímo definován sadou bodů zákaznickou specifikací, ve kterých je určená mez svítivosti anebo osvětlení ve vzdálenosti 25m. Dalšími sledovanými parametry jsou například barva svazku nebo gradient hranice, ačkoliv nebyly předmětem měření.

Zvolený projektor je komplexní a sdružuje různé technologie produkce světla. Jmenovitě modul potkávacího svícení využívá úpravy světla pomocí reflektoru a čočky, zatímco v modulu dálkového svícení světlo prochází pouze kolimátorem a výstupní čočkou. Konstrukce projektoru je následně náročnější neboť je nutné seřadit pozici dálkové i potkávací funkce, přičemž seřizovací prvky jsou pro úsporu hmotnosti, místa i výrobních nákladů náchylné k rozseřování, což je nutné brát při srovnávacím měření v úvahu. Do přesnosti samotného srovnávacího měření tak v konečném důsledku zasáhla manipulace s projektorem, nedokonalý a odlišný způsob uchycení projektoru ke goniofotometru i odlišný způsob vyhledání bodu zlomu. Tyto vlivy jsou v tabulkách č. 6 a č. 7 vyjádřeny sloupci odchylka. Odchytky manifestují zejména v oblasti hranice potkávací funkce, kde i drobná odchylka pozice může způsobit velký rozdíl ve svítivosti, a také v oblastech obecně nízké svítivosti, kde chybu způsobuje odlišný způsob měření mezi laboratořemi VŠB a VLS. Zatímco fotometrický sál Varroc lighting systems disponuje celou sadou v různých vzdálenostech situovaných fotočlánků, při měření v laboratoři Vysoké školy báňské byl pro změření kompletní úlohy využit jeden univerzální fotočlánek. Budeme-li považovat v rámci úlohy naměřenou maximální hodnotu 57384cd za vrchní hranici měřicího rozsahu přístroje, pak by pro dosažení absolutní chyby na úrovni nejvyšší relativní odchylky 196cd musel použitý goniofotometr dosahovat směrodatné odchylky pouhých $\Delta I = 0,342\%$. I přes všechny tyto vlivy se podařilo mezi výsledky nalézt korelaci a žádný nevybočil z mezí stanovených zákaznickou specifikací. K demonstrativním a výukovým účelům jsou výsledky plně dostačující, čímž je naplněn cíl této práce.

Závěrečnou součástí práce je návrh laboratorní úlohy pro demonstraci funkce této kritické části automobilového světlometu a teorie fotometrie a světelných stop v rámci výuky studentů v nadcházejících semestrech. Úloha je zacílena zejména na seznámení s tvarem jednotlivých stop, jejich účelu a funkce v osvětlení automobilu a k praktickému prohloubení znalostí v oboru elektrického světla.

Použitá literatura a zdroje

- [1] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje - světelné diody. *Světlo* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2009 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39810.pdf>
- [2] LÁZŇOVSKÝ, Matouš. Nobelovu cenu za fyziku získali objevitelé modrých diod. *Technet.cz* [online]. Praha: Mafra, 2014 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/vesmir/nobelova-cena-za-fyziku-2014.A120430_140546_tec_vesmir_mla
- [3] KOTEK, Jaroslav. Velkoplošné obrazovky na bázi diod LED. *Světlo* [online]. Praha: FCC Praha, 2004 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/velkoplosne-obrazovky-na-bazi-diod-led--16562>
- [4] BAXANT, Petr. Zdroje LED v osvětlovací technice Zdroje LED v osvětlovací technice. *Elektro* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2011 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/zdroje-led-v-osvetlovaci-technice--9897>
- [5] ŘÍČNÝ, Václav. Co to je OLED a čím se televizory s touto technologií liší od LCD a plazmy?. *Lupa* [online]. Praha: Internet info s r.o., 2012 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/co-to-je-oled-a-cim-se-lisi-televizory-lcd-a-led/>
- [6] Thermal management for higher watt density surface mount applications. *Henkel adhesives* [online]. Düsseldorf: Henkel, 2006 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.henkel-adhesives.com/us/en/products/thermal-management-materials/thermal-clad-insulated-metal-substrates.html>
- [7] Osram Opto Semiconductors GmbH [online katalogový list]. *OSLON® Black Flat, KW H3L531.TE*. ©2015 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-6185525/KW%20H3L531.TE_EN.pdf
- [8] Osram Opto Semiconductors GmbH [online katalogový list]. *OSLON® Black Flat, LUW HWQP*. ©2016 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-5710564/LUW%20HWQP_EN.pdf
- [9] *Projektování silnic a dálnic. 3. vydání. Praha: CTN PRAGOPROJEKT, 1985.*
- [10] *Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions. Rev.2. Geneva: UNECE, 2013.*
- [11] MACEVOY, Bruce. Modern color models. *Color vision* [online]. Sebastopol: Handprint, 2010 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color7.html>

- [12] *Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích - světelná zařízení vozidel.* In: Praha: Ministerstvo dopravy a spojů, 2002, ročník 2017, číslo 431.
- [13] *Dohoda o přijetí harmonizovaných technických předpisů Organizace spojených národů pro kolová vozidla, zařízení a části, které mohou být namontovány a/nebo používány na kolových vozidlech, a o podmínkách pro vzájemné uznávání schválení udělených podle těchto předpisů Organizace spojených národů.* In: Geneva: Ministerstvo dopravy a spojů, 1958, ročník 2016, rev. 3.
- [14] *IATF 16949:2016: Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu.* Pontoise: SMMT Industry Forum, 2016.